



**ANALISIS PENGARUH UKURAN BAHAN TERHADAP EMISI
SPONTAN FOTODIODA GALIUM ARSENIDA TIPE P-I-N *JUNCTION***

SKRIPSI

Oleh

**Ayu Kristina
NIM 161810201005**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2021**



**ANALISIS PENGARUH UKURAN BAHAN TERHADAP EMISI
SPONTAN FOTODIODA GALIUM ARSENIDA TIPE P-I-N JUNCTION**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Fisika (S-1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains (S.Si.)

Oleh

Ayu Kristina
NIM 161810201005

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2021

PERSEMBAHAN

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT saya diberikan kesempatan untuk menyelesaikan skripsi. Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya, Bapak Alm. Sumiran dan Ibu Almh. Marmi yang telah mendidik dan membesarkan saya dengan penuh kasih sayang .
2. Kakak saya Puguh Yudianto yang selalu memberikan semangat, motivasi, dan doa.
3. Adik saya Roni Setiyo Aji yang selalu memberikan semangat, motivasi, dan doa.
4. Seluruh keluarga saya yang telah memberikan dukungan dan selalu memotivasi saya.
5. Almamater Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.
6. Seluruh bapak ibu guru dan dosen yang telah mendidik dan membimbing dengan kesabaran dan keikhlasan.

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan”

(Terjemahan QS. Al-Insyirah Ayat 5-6) *)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai kesanggupannya”

(Terjemahan QS. Al-Baqarah ayat 286) *)



*) Departemen Agama Republik Indonesia. 2015. Al-Quran Terjemahan. Bandung: CV Darus Sunnah.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ayu Kristina

NIM : 161810201005

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “ Analisis Pengaruh Ukuran Bahan terhadap Emisi Spontan Fotodioda Galium Arsenida Tipe P-I-N *Junction*” adalah sebenarnya karya saya sendiri, kecuali kutipan yang telah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Januari 2021

Yang Menyatakan,

Ayu Kristina

NIM. 161810201005

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH UKURAN BAHAN TERHADAP EMISI
SPONTAN FOTODIODA GALIUM ARSENIDA TIPE P-I-N *JUNCTION***

Oleh

Ayu Kristina

NIM 161810201005

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Endhah Purwandari, S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Wenny Maulina, S.Si., M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Pengaruh Ukuran Bahan terhadap Emisi Spontan Fotodiode Galium Arsenida Tipe *P-I-N Junction*“, karya Ayu Kristina telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal :

Tempat : Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember.

Tim Penguji

Ketua,

Anggota I,

Endhah Purwandari, S.Si., M.Si.

Wenny Maulina, S.Si., M.Si

NIP. 198111112005012001

NIP. 198711042014042001

Anggota II,

Anggota III,

Dr. Agus Suprianto, S.Si, M.T.

Dr. Edy Supriyanto, S.Si, M.Si.

NIP. 197003221997021001

NIP. 196712151998021001

Mengesahkan

Dekan FMIPA Universitas Jember

Drs. Achmad Sjaifullah, M.Sc., Ph.D.

NIP. 195910091986021001

RINGKASAN

Analisis Pengaruh Ukuran Bahan terhadap Emisi Spontan Fotodiode Galium Arsenida Tipe P-I-N Junction; Ayu Kristina; 77 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Perkembangan penelitian mengenai perangkat optoelektronika banyak dilakukan. Salah satu perangkat yang banyak diteliti adalah fotodiode. Fotodiode adalah sensor cahaya semikonduktor yang mengubah besaran cahaya menjadi besaran listrik. Hal ini dapat terjadi ketika cahaya mengenai permukaan fotodiode mengakibatkan elektron tereksitasi dan menimbulkan *hole* (lubang) yang bermuatan positif. Elektron akan tertarik ke sumber tegangan positif dan *hole* tertarik ke sumber tegangan negatif, sehingga arus listrik dapat mengalir dalam sebuah rangkaian. Besarnya jumlah pasangan elektron-*hole* berbanding lurus dengan besar intensitas yang didapatkan fotodiode. Fotodiode dapat menghantarkan arus listrik ketika dikenai cahaya (foton). Partikel dapat berinteraksi dengan cahaya (foton) melalui cara mengabsorpsi atau mengemisikan foton. Emisi cahaya dapat terjadi secara spontan atau terstimulasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran bahan fotodiode terhadap emisi spontan yang terjadi pada fotodiode tersebut. Bahan yang digunakan untuk penelitian adalah bahan semikonduktor galium arsenida (GaAs).

Penelitian ini dilakukan secara simulasi menggunakan aplikasi Comsol Multiphysic 5.2a. Tahapan simulasi yang dilakukan adalah pertama-tama masukkan parameter input yang telah didapat dari beberapa referensi, langkah kedua adalah membentuk geometri fotodiode dalam bidang 2D, ketiga melakukan pengaturan kondisi batas menggunakan metode doping analitik dan geometri, langkah keempat yaitu menambahkan jenis bahan dan pembuatan *mesh*, kelima menyelesaikan permasalahan menggunakan persamaan Poisson dan Kontinuitas, langkah keenam mengatur nilai variasi ukuran bahan dan yang terakhir membuat kurva emisi spontan. Variasi ukuran bahan fotodiode yang divariasikan meliputi tebal dan lebar devais. Tebal devais divariasikan dari $0,5\mu\text{m}$ sampai $1\mu\text{m}$. Lebar devais divariasikan dari $1\mu\text{m}$ sampai $5\mu\text{m}$.

Hasil simulasi yang dilakukan menghasilkan kurva emisi spontan. Kurva tersebut menyatakan hubungan antara energi foton terhambur dan daya emisi spontan. Pada variasi tebal devais fotodiode antara $0,5\mu\text{m}$ sampai $1\mu\text{m}$, didapatkan hasil bahwa pada ketebalan devais paling kecil nilai emisi spontan maksimum yang didapatkan adalah yang paling besar. Hal ini dinyatakan melalui variasi tebal devais terkecil $0,5\mu\text{m}$ didapatkan emisi spontan maksimum sebesar $2,47 \times 10^{26}(\text{m}^{-3}\text{s}^{-1})$ pada energi foton terhambur $1,440\text{eV}$. Pada variasi lebar devais fotodiode antara $1\mu\text{m}$ sampai $5\mu\text{m}$, didapatkan hasil bahwa pada lebar devais paling kecil nilai emisi spontan maksimum yang didapatkan adalah yang paling besar. Hal ini dinyatakan melalui variasi lebar devais terkecil $1\mu\text{m}$ didapatkan emisi spontan maksimum sebesar $1,11 \times 10^{19}(\text{m}^{-3}\text{s}^{-1})$ pada energi foton terhambur $1,441\text{eV}$. Kesimpulan yang dapat diambil pada penelitian ini adalah pada tebal dan lebar devais paling kecil, memiliki nilai emisi spontan maksimum terbesar yang dihasilkan.

PRAKATA

Puji syukur atas kehadiran Alloh SWT karena rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Pengaruh Ukuran Bahan terhadap Emisi Spontan Fotodioda Galium Arsenida Tipe P-I-N *Junction*”. Penulisan skripsi ini disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Dengan segala hormat penulis menyampaikan terimakasih atas bantuan dan bimbingan dalam penyusunan skripsi ini, kepada :

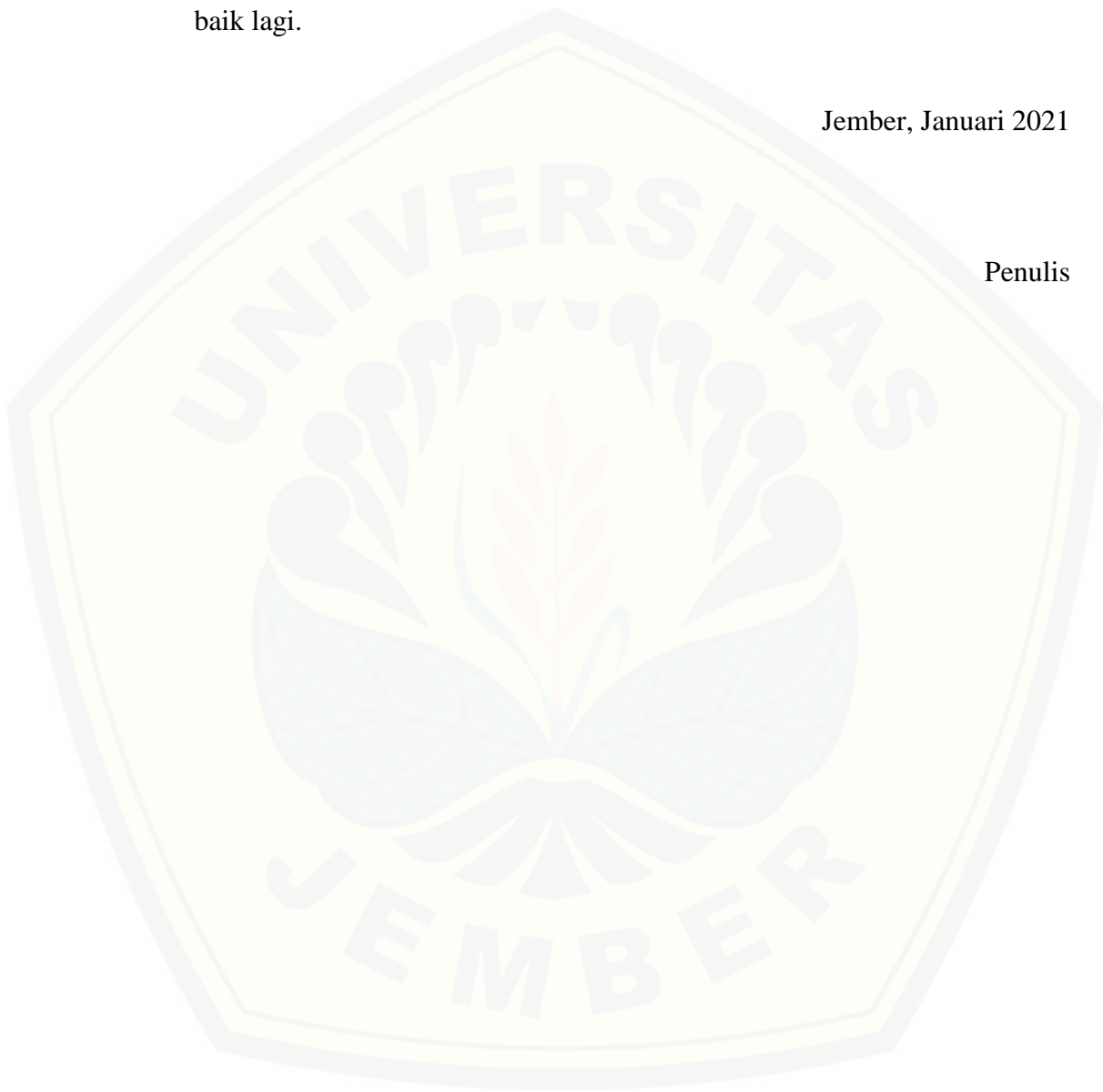
1. Ibu Endhah Purwandari, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing utama dan Ibu Wenny Maulina, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing anggota yang telah meluangkan waktu dan sabar dalam membimbing penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini;
2. Bapak Dr. Agus Suprianto, S.Si, M.T. selaku penguji I dan Bapak Dr. Edy Supriyanto, S.Si, M.Si. selaku penguji II yang telah memberikan masukan dan saran untuk skripsi ini;
3. Ibu Nurul Priyantari, S.Si, M.Si. selaku dosen pembimbing akademik yang membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
4. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jember;
5. Teman-teman seperjuangan Makhwiyatul Khusnah, Novia Puji Lestari, Elya Aida Nuraini dan Faiza Nur Laila yang selalu menemani, memberikan semangat, dan membantu saya;
6. Teman-teman seperantauan Paramudibta Lungit Kuncaraningtyas, Isna Yulia Agustin, Nuraini Elita Putri dan Wiwid Widyaningsih, yang selalu menemani dan memberikan semangat;
7. Sahabat SD, SMP, SMA dan sahabat kuliah yang selalu mendukung dan memberikan semangat;
8. Teman seangkatan Phylosophi Einstein'16 yang selalu menemani selama masa perkuliahan;

9. Semua pihak yang terkait dan berkontribusi untuk penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca. Penulis juga mengharapkan kritik dan saran agar skripsi ini dapat dikembangkan lebih baik lagi.

Jember, Januari 2021

Penulis



DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
DAFTAR MOTTO.....	iii
DAFTAR PERNYATAAN	iv
DAFTAR PEMBIMBINGAN	v
DAFTAR PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Dioda	6
2.2 Fotodioda	6
2.3 Prinsip Kerja Fotodioda.....	7
2.4 Fotodioda p-i-n Junction	10
2.5 Cahaya sebagai Gelombang Elektromagnetik	12
2.6 Bahan Semikonduktor GaAs	13
2.7 Persamaan Poisson dan Kontinuitas.....	15
2.8 Interaksi Cahaya dengan Materi.....	16
2.8.1 Absorpsi	17
2.8.2 Emisi Spontan	17

2.8.3 Emisi Terstimulasi.....	18
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Rancangan Penelitian	19
3.2 Jenis dan Sumber Data.....	20
3.3 Variabel Penelitian.....	20
3.4 Kerangka Pemecahan Masalah	20
3.4.1 Identifikasi Permasalahan dan Studi Pustaka.....	23
3.4.2 Proses Simulasi	23
3.5 Analisa Data	28
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Emisi Spontan pada Variasi Tebal Devais Fotodiode	29
4.2 Emisi Spontan pada Variasi Lebar Devais Fotodiode	37
BAB 5. PENUTUP.....	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN.....	47

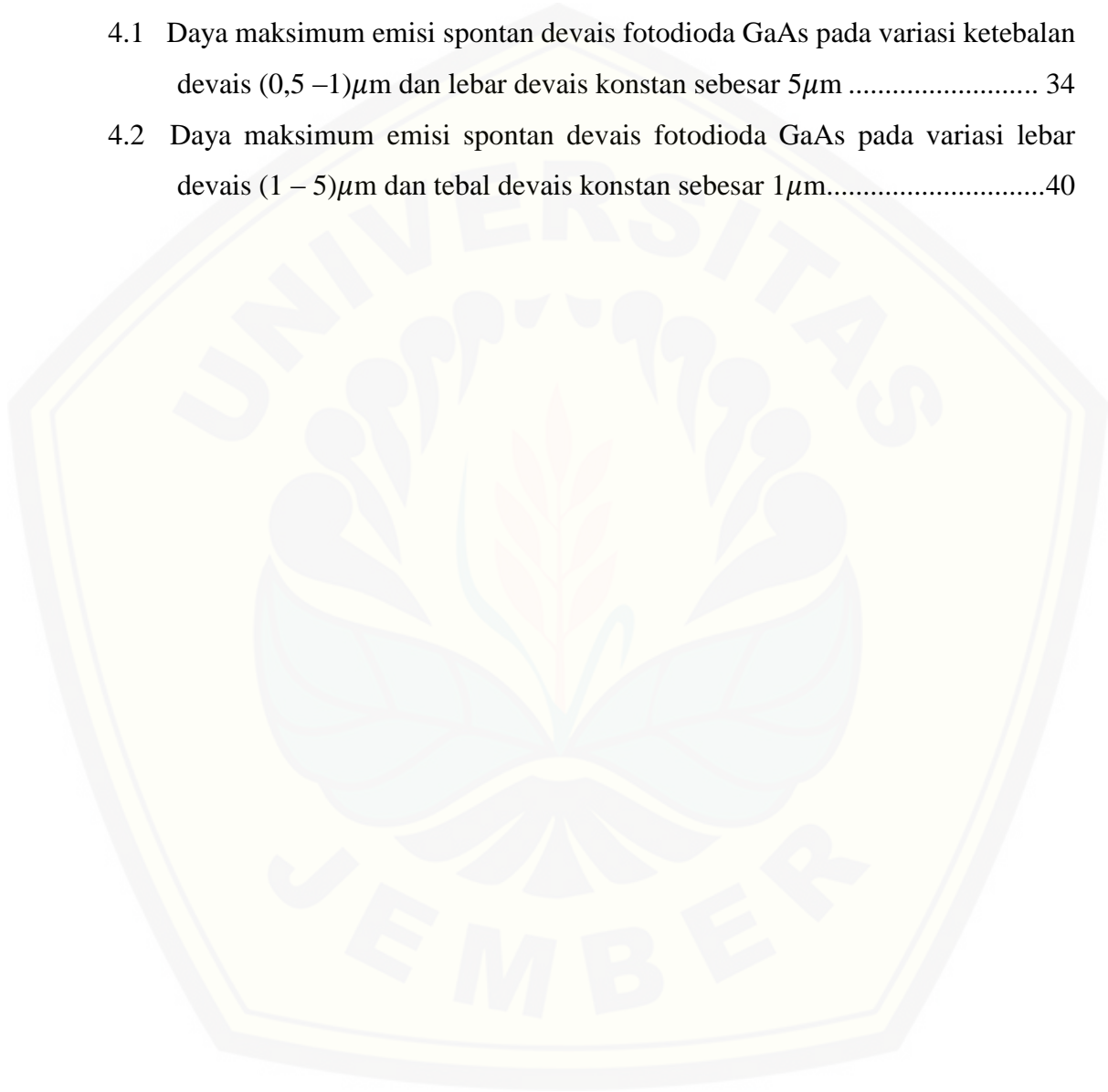
DAFTAR GAMBAR

	halaman
2.1 Simbol fotodioda.....	7
2.2 Fotodioda P-N penampang melintang.....	9
2.3 Fotodioda P-I-N dengan tegangan terbalik	11
2.4 Daya terabsorpsi pada daerah i	12
2.5 Spektrum gelombang elektromagnetik	13
2.6 Struktur kristal GaAs berbentuk tetrahedral	14
2.7 Struktur pita energi GaAs	15
2.8 Absorpsi (a), emisi spontan (b), emisi terstimulasi (c)	17
3.1 Diagram alir kegiatan penelitian	19
3.2 Diagram alir dari kegiatan simulasi emisi spontan pada fotodioda GaAs p-i-n <i>junction</i> untuk mengetahui pengaruh variasi lebar bahan	21
3.3 Diagram alir dari kegiatan simulasi emisi spontan pada fotodioda GaAs p-i-n <i>junction</i> untuk mengetahui pengaruh variasi tebal bahan.....	22
3.4 Geometri fotodioda GaAs	25
4.1 Kurva daya emisi spontan devais fotodioda GaAs ketika ukuran tebal devais $h = 0,5\mu m$ dan lebar devais $w = 5\mu m$, dan daya emisi spontan dihasilkan pada energi foton terhambur (1,425- 1,600)eV	30
4.2 Kurva daya emisi spontan devais fotodioda GaAs ketika ukuran tebal devais $h = 0,75\mu m$ dan lebar devais $w = 5\mu m$, dengan daya emisi spontan dihasilkan pada energi foton terhambur (1,425- 1,600)eV	31
4.3 Kurva daya emisi spontan devais fotodioda GaAs ketika ukuran tebal devais $h = 1\mu m$ dan lebar devais $w = 5\mu m$, dengan daya emisi spontan dihasilkan pada energi foton terhambur (1,425- 1,600)eV	31
4.4 Grafik hubungan antara daya emisi spontan maksimum terhadap ketebalan devais fotodioda (0,5 – 1) μm dan lebar konstan $5\mu m$	35

4.5	Kurva daya emisi spontan devais fotodioda GaAs ketika ukuran lebar devais $w = 1\mu m$ dan tebal devais $h = 1\mu m$, dan daya emisi spontan dihasilkan pada energi foton terhambur (1,425- 1,601)eV.....	37
4.6	Kurva daya emisi spontan devais fotodioda GaAs ketika ukuran lebar devais $w = 3\mu m$ dan tebal devais $h = 1\mu m$, dan daya emisi spontan dihasilkan pada energi foton terhambur (1,425- 1,601)eV.....	38
4.7	Kurva daya emisi spontan devais fotodioda GaAs ketika ukuran lebar devais $w = 5\mu m$ dan tebal devais $h = 1\mu m$, dan daya emisi spontan dihasilkan pada energi foton terhambur (1,425- 1,601)eV.....	38
4.8	Grafik hubungan antara daya emisi spontan maksimum terhadap lebar devais fotodioda (1 – 5) μm dan tebal konstan $1\mu m$	41

DAFTAR TABEL

	halaman
3.1 Parameter <i>Input</i>	24
4.1 Daya maksimum emisi spontan devais fotodioda GaAs pada variasi ketebalan devais $(0,5 - 1)\mu\text{m}$ dan lebar devais konstan sebesar $5\mu\text{m}$	34
4.2 Daya maksimum emisi spontan devais fotodioda GaAs pada variasi lebar devais $(1 - 5)\mu\text{m}$ dan tebal devais konstan sebesar $1\mu\text{m}$	40



DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
1. Data daya emisi spontan terhadap energi foton terhambur saat tebal devais 0,5 μm dan lebar 5 μm	47
2. Data daya emisi spontan terhadap energi foton terhambur saat tebal devais 0,75 μm dan lebar 5 μm	52
3. Data daya emisi spontan terhadap energi foton terhambur saat tebal devais 1 μm dan lebar 5 μm	58
4. Data daya emisi spontan terhadap energi foton terhambur saat lebar devais 1 μm dan tebal 1 μm	63
5. Data daya emisi spontan terhadap energi foton terhambur saat lebar devais 3 μm dan tebal 1 μm	68
6. Data daya emisi spontan terhadap energi foton terhambur saat lebar devais 5 μm dan tebal 1 μm	73

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan penelitian mengenai perangkat optoelektronika banyak dilakukan. Penelitian ini dikembangkan agar didapatkan perangkat yang kecil, tahan lama, memiliki efisiensi kuantum yang tinggi, dan *bandwidth* yang lebih besar. Salah satu perangkat optoelektronika yang banyak diteliti adalah fotodioda. Fotodioda adalah sensor cahaya semikonduktor yang mengubah besaran cahaya menjadi besaran listrik (Apriano, 2012). Cahaya yang dapat dideteksi oleh fotodioda yaitu cahaya inframerah, cahaya tampak, sampai dengan sinar-X (Holonyak dan Bevacqua, 1962). Cahaya yang mengenai permukaan fotodioda mengakibatkan pergeseran foton yang dapat menghasilkan pasangan elektron-*hole* di kedua sisi dari sambungan. Terjadi aliran elektron ke arah sumber tegangan positif dan *hole* ke arah sumber tegangan negatif, sehingga arus dapat mengalir di dalam rangkaian. Besarnya pasangan elektron dan *hole* yang dihasilkan berbanding lurus dengan besar intensitas yang didapatkan fotodioda (Sutrisno, 1986).

Fotodioda berfungsi sebagai sensor untuk mengukur intensitas cahaya. Semakin besar intensitas cahaya yang mengenai permukaan divais maka arus yang dihasilkan fotodioda semakin besar (Robert, 1963). Selain arus, resistansi fotodioda juga dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diterima. Semakin besar intensitas cahaya yang diterima maka semakin kecil resistansi dari fotodioda dan berlaku sebaliknya. Semakin kecil intensitas cahaya yang diterima maka semakin besar resistansi dari fotodioda tersebut (Zemansky dan Sears, 2003).

Fotodioda merupakan salah satu jenis dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor adalah bahan yang mempunyai nilai resistivitas diantara resistivitas konduktor dan isolator. Semikonduktor merupakan paduan metalik dan oksida yang memiliki tingkat energi yang bervariasi (Theraja, 1982). Sifat terpenting semikonduktor adalah sifat konduktivitas listrik yang dimiliki. Konduktivitas listrik semikonduktor ditentukan oleh jumlah pembawa muatan dan temperatur. Bahan semikonduktor murni yang banyak digunakan yaitu silikon (Si) dan germanium (Ge). Semikonduktor akan lebih efektif jika tipe-p dan

tipe-n disambungkan menjadi satu (*junction*). Atom pengotor untuk membentuk semikonduktor tipe-n adalah atom bervalensi tiga atau lima, seperti fosfor dan arsen. Atom pengotor untuk membentuk tipe-p adalah atom yang bervalensi tiga seperti boron, galium, dan indium (Sze, 1985).

Salah satu pemanfaatan bahan semikonduktor adalah diaplikasikannya bahan ini sebagai fotodiode. Salah satu bahan yang umum digunakan adalah material paduan GaAs yang masing-masing merupakan unsur golongan III (galium) dan V (arsen). Struktur atom GaAs merupakan struktur kristal. Struktur ini membentuk ikatan kovalen yaitu ikatan yang terjadi karena pembentukan pasangan elektron yang saling terbagi di antara atom yang berikatan (pemakaian elektron bersama). Kristal GaAs memiliki lebar energi *bandgap* pada temperatur kamar 300K sebesar 1,42 eV. Besar energi ikatnya yaitu 2,84 eV. GaAs adalah bahan semikonduktor dengan energi *bandgap* langsung (*direct bandgap*). *Direct bandgap* terjadi karena bahan semikonduktor GaAs tidak memiliki momentum tambahan, sehingga antara minimum pita konduksi dengan maksimum pita valensi terletak segaris lurus. Alasan memilih bahan GaAs pada penelitian ini adalah celah pita yang lebih lebar memungkinkan operasi perangkat daya pada temperatur yang lebih tinggi. Bahan GaAs juga memiliki daya tahan terhadap temperatur dan memiliki daya mobilitas elektron yang tinggi sehingga elektron dapat bergerak dengan cepat dan dapat dijadikan sebagai bahan komponen *chip* yang dapat bekerja secara optimal (Takahashi dan Konagi, 1986).

Prinsip kerja fotodiode yaitu ketika cahaya foton (satuan energi dalam cahaya) mengenai bagian permukaan fotodiode dengan intensitas yang cukup maka cahaya akan diserap untuk membentuk pasangan elektron dan *hole*. *Hole* adalah bagian kisi-kisi semikonduktor yang kehilangan elektron. Syarat suatu elektron dapat tereksitasi adalah terjadinya tumbukan pada atom. Contohnya energi foton menumbuk permukaan atom dengan besar energi yang lebih besar dari energi yang dimiliki elektron suatu atom, sehingga menyebabkan elektron tereksitasi (berpindah dari energi rendah ke energi yang lebih tinggi). Elektron pada suatu atom yang tereksitasi akan kembali dengan cepat ke keadaan dasar (*groundstate*) dengan memancarkan sebuah foton yang besar energinya sama dengan energi yang

dikeluarkan atom. Keadaan tereksitasi bukanlah keadaan stabil. P-N *junction* dan area penipisan (*depletion region*) adalah bagian terpenting pada fotodioda. Daerah kerja fotodioda dibuat ketika *dopant* tipe-p dengan *holenya* bertemu dengan *dopant* tipe-n sehingga terisi elektron dari semikonduktor tipe-n tersebut. Pertemuan antara *hole* dan elektron menyebabkan terjadi aliran arus (Gunarta, 2011). Partikel dapat berinteraksi dengan cahaya (foton) melalui cara mengabsorpsi atau mengemisikan foton. Emisi cahaya dapat terjadi secara spontan atau terstimulasi. Emisi spontan adalah proses dimana suatu atom berpindah dari keadaan energi tereksitasi ke keadaan energi lebih rendah dengan memancarkan sejumlah energi dalam bentuk foton. Emisi terstimulasi terjadi ketika foton lain menumbuk atom atau molekul tereksitasi (Schroder, 1990). Pada penelitian ini, fenomena emisi spontan pada fotodioda GaAs yang diamati. Ukuran devais fotodioda divariasikan dengan nilai tertentu dan dilihat pengaruhnya pada nilai emisi spontan yang dihasilkan.

Penelitian ini mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Hamady et al. (2012) tentang simulasi fotodioda p-i-n *junction* dengan bahan silikon menggunakan *software* COMSOL Multiphysic versi 5.2a. Pada penelitian tersebut, fotodioda p-i-n silikon dirancang menggunakan semikonduktor metal-oksida komplementer (CMOS). Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh kedalaman dan ketebalan substrat terhadap konsentrasi doping, potensial listrik dan karakteristik arus-tegangan. Distribusi potensial listrik pada bias maju tidak memberikan pengaruh yang signifikan, potensial listrik pada bias mundur menunjukkan keluaran arus pada tiga wilayah yaitu *Trap-Assisted Tunneling*, *Band-to-Band Tunneling*, dan *Avalanche*. Penelitian yang dilakukan penulis juga menggunakan *software* COMSOL Multiphysic versi 5.2a, yang membedakan adalah penulis menggunakan bahan yang berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Hamady et al. (2012), penulis menggunakan bahan GaAs. Penelitian yang penulis lakukan lebih spesifik untuk mengetahui pengaruh variasi ketebalan dan lebar devais terhadap emisi spontan fotodioda di daerah inframerah.

Penelitian kedua yang dijadikan acuan adalah penelitian yang telah dilakukan oleh Pilkhun dan Rupprecht (1966), tentang eksperimen mengenai emisi spontan dan emisi terstimulasi dioda GaAs pada struktur tiga lapisan. Penelitian ini

dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi doping. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada konsentrasi donor tinggi, maka emisi terjadi pada energi foton rendah. Ketika konsentrasi donor rendah, maka emisi terjadi pada energi foton tinggi. Selanjutnya, analisis lebih lanjut diperlukan pada penelitian yang penulis lakukan untuk melihat karakteristik emisi spontan yang dihasilkan, pada saat ketebalan dan lebar bahan divariasi.

Penelitian “Analisis Pengaruh Ukuran Bahan terhadap Emisi Spontan Fotodioda Galium Arsenida Tipe P-I-N *Junction*” dilakukan dengan menggunakan *software* COMSOL Multiphysic 5.2a. Sesuai dengan judul diatas, penelitian ini menganalisa pengaruh variasi ukuran bahan yaitu lebar dan ketebalannya. Lebar akan divariasi dari (1-5) μm dan ketebalan divariasi dari (0,5-1) μm . Panjang gelombang cahaya datang yang dianalisis dibuat konstan yaitu sebesar 870nm. Energi celah pita material GaAs pada suhu 300K sebesar 1,42eV. Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui pengaruh variasi ukuran bahan yaitu lebar dan ketebalan bahan terhadap nilai energi emisi spontan yang dihasilkan pada fotodioda GaAs. Daya emisi spontan penting untuk diteliti karena dapat mengamati secara lebih spesifik prinsip kerja dan mekanisme dari sebuah perangkat dan dapat menentukan ukuran bahan yang paling efisien untuk fotodioda tersebut agar dapat bekerja lebih optimal. Penelitian ini dilakukan secara komputasi sehingga diharapkan dapat menjadi referensi bagi kegiatan penelitian eksperimental.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan diteliti pada penelitian "Analisis Pengaruh Ukuran Bahan terhadap Emisi Spontan Fotodioda Galium Arsenida Tipe P-I-N *Junction* " adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi tebal bahan devais terhadap daya emisi spontan fotodioda GaAs P-I-N *junction* ?
2. Bagaimana pengaruh variasi lebar bahan devais terhadap daya emisi spontan fotodioda GaAs P-I-N *junction* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian "Analisis Pengaruh Ukuran Bahan terhadap Emisi Spontan Fotodiode Galium Arsenida Tipe P-I-N *Junction*" adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi tebal bahan devais terhadap tingkat daya emisi spontan fotodiode GaAs P-I-N *junction*.
2. Mengetahui pengaruh variasi lebar bahan devais terhadap tingkat daya emisi spontan fotodiode GaAs P-I-N *junction*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang ingin dicapai pada penelitian "Analisis Pengaruh Ukuran Bahan terhadap Emisi Spontan Fotodiode Galium Arsenida Tipe P-I-N *Junction*" adalah :

1. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.
2. Hasil penelitian dapat menambah informasi pembaca mengenai fotodiode.
3. Hasil penelitian dapat digunakan untuk mengembangkan pengetahuan dibidang komputasi khususnya untuk aplikasi COMSOL.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dioda

Dioda adalah komponen semikonduktor yang paling sederhana. Dioda merupakan kategori komponen elektronika aktif. Gabungan bahan semikonduktor tipe-p dan tipe-n menjadi material pembentuk dioda. Salah satu sifat dioda adalah dapat menghantarkan arus pada tegangan maju, serta menghambat arus pada tegangan balik (penyearah). Dioda hanya dapat melewatkan arus pada satu arah, yakni ketika memperoleh bias maju (*forward bias*). Pada kondisi ini dioda dalam keadaan konduksi dan memiliki tahanan yang relatif kecil. Dioda yang diberi bias mundur (*reverse bias*) maka dioda tidak bekerja dan memiliki tahanan yang tinggi sehingga arus sulit mengalir. Dioda dibagi menjadi beberapa jenis yaitu dioda pemancar cahaya (LED), fotodioda, dioda Varactor, dioda Schottky, dioda *Step-Recovery*, dan dioda Zener (Sari, 2017). Pada penelitian ini, jenis dioda yang akan dibahas secara spesifik adalah fotodioda.

2.2 Fotodioda

Fotodioda adalah piranti semikonduktor dengan struktur sambungan p-n yang dirancang untuk beroperasi bila dibiaskan dalam keadaan terbalik untuk mendeteksi cahaya. Fotodioda adalah suatu jenis dioda yang resistansinya berubah-ubah ketika cahaya yang mengenai fotodioda berubah intensitasnya. Pada kondisi gelap, nilai resistansi akan semakin besar sehingga arus tidak mengalir. Semakin besar intensitas cahaya yang mengenai fotodioda maka semakin kecil nilai resistansi, sehingga arus yang mengalir semakin besar. Fotodioda p-n bertegangan balik yang dikenai cahaya, maka arus akan berubah secara linier dengan kenaikan fluks cahaya yang mengenai persambungan p-n tersebut (Malvino, 2003).

Fotodioda terbuat dari bahan semikonduktor. Bahan yang biasa digunakan adalah silikon (Si), galium arsenida (GaAs), indium arsenida (InAs), dan timah sulfida (PbS). Bahan tersebut memiliki jangkauan panjang gelombang berbeda (Sze, 1985).

Menurut Malvino (2003) fotodioda adalah jenis dioda yang berfungsi mendeteksi cahaya. Komponen elektronika ini akan mengubah cahaya menjadi arus listrik. Cahaya yang dapat dideteksi mulai dari cahaya inframerah, cahaya tampak, ultraungu sampai sinar-X. Cahaya dengan panjang gelombang tertentu mengenai persambungan fotodioda, maka arus akan mengalir dalam sirkuit eksternal. Komponen ini akan bekerja sebagai generator arus, yang besar arusnya sebanding dengan intensitas cahaya. Cahaya diserap di daerah persambungan, menimbulkan pasangan elektron-*hole* mengalami perubahan karakteristik elektris ketika energi cahaya melepaskan pembawa muatan dalam bahan itu, sehingga menyebabkan perubahan konduktivitas. Kondisi tersebut membuat fotodioda menghasilkan arus listrik jika dikenai cahaya. Hal ini dapat ditunjukkan dengan rumus yaitu :

$$E_g = \frac{h.c}{\lambda} = h.f \quad (2.1)$$

keterangan :

E_g = Energi foton

h = Potensial ionisasi ($4,136 \cdot 10^{-15}$ eV)

c = Kecepatan cahaya ($3 \cdot 10^8$ m/s)

λ = Panjang gelombang cahaya (m)

f = Frekuensi gelombang cahaya (s^{-1})

Fotodioda banyak diaplikasikan menjadi alat-alat yang memiliki fungsi tertentu. Beberapa contoh alat yang merupakan aplikasi fotodioda adalah layar proyektor, penghitung kendaraan di jalan umum secara otomatis, pengukur cahaya pada kamera, dan beberapa peralatan di bidang medis (Munthe, 2011).



Gambar 2.1. Simbol fotodioda
(Sumber :Sari, 2017)

2.3 Prinsip Kerja Fotodioda

Menurut Gunarta (2011) fotodioda adalah komponen semikonduktor sejenis dioda yang berfungsi mendeteksi cahaya. Komponen ini mampu merespon cahaya yang diterimanya dalam bentuk perubahan resistansi. Perubahan resistansi

fotodioda sebanding dengan besar intensitas yang diterima. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai resistansi fotodioda adalah:

$$V_{out} = \frac{R \text{ fotodioda}}{R \text{ fotodioda} + R_2} \times V_{in} \quad (2.2)$$

keterangan:

V_{in} = Tegangan masuk pada fotodioda

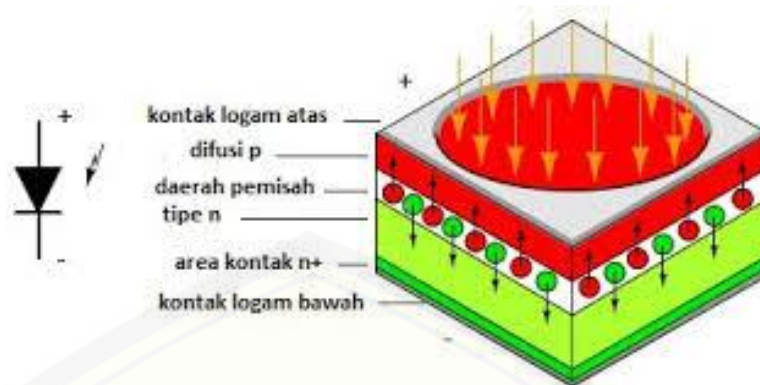
V_{out} = Tegangan keluaran pada fotodioda

R fotodioda = Resistansi dari fotodioda

R_2 = Resistansi resistor pada rangkaian fotodioda

Sebuah fotodioda yang berbentuk persambungan tipe-p dan tipe-n harus memiliki ketebalan yang tipis, sehingga cahaya dapat masuk ke daerah pemisah (*depletion region*), tempat cahaya diubah menjadi pasangan elektron dan *hole*. Disini, *hole* adalah bagian dari kisi-kisi semikonduktor yang kehilangan elektron. Cahaya yang mengenai bagian atas fotodioda masuk ke dalam lapisan semikonduktor. Lapisan tipe-p yang tipis membuat banyak foton melewatinya menuju daerah pemisah (*depletion region*). Sebuah foton membuat elektron tereksitasi ke pita konduksi. Medan listrik yang tercipta di daerah pemisah menyebabkan elektron tertarik ke lapisan tipe-n, sedangkan *hole* ke lapisan tipe-p. Pasangan elektron-*hole* dapat terbentuk pada semua daerah dari bahan semikonduktor.

Pasangan elektron-*hole* yang tercipta di *depletion area* akan terpisah ke daerah P dan N. Banyak pasangan elektron-*hole* di daerah P dan N mengalami rekombinasi dan sedikit yang mengalami rekombinasi di *depletion area*. Sehingga, pasangan elektron-*hole* yang ada di daerah P dan N hanya sedikit. Pasangan elektron-*hole* di *depletion area* menyebabkan terjadinya arus listrik pada saat fotodioda terkena cahaya (*photocurrent*) (Katriana et al., 2015). Arus yang mengalir pada semikonduktor memiliki arah yang berlawanan dengan gerak muatan pembawa. Cara tersebut digunakan untuk mengumpulkan foton dan menyebabkan arus atau tegangan mengalir di bagian-bagian elektroda (Gunarta, 2011).



Gambar 2.2. Fotodiode P-N penampang melintang
(Sumber :Katriana et al., 2015)

Fotodiode digunakan sebagai penangkap gelombang cahaya. Fotodiode yang dikenai cahaya akan menghasilkan tegangan sekitar 0,5volt. Arus yang dihasilkan tergantung dari intensitas cahaya yang masuk pada fotodiode tersebut. Fotodiode memiliki kemampuan responsivitas yaitu kemampuan dari sebuah fotodiode untuk menambah arus bias mundur sebagai hasil penambahan pada cahaya. Responsivitas dari fotodiode merupakan perbandingan antara besarnya arus listrik yang dihasilkan dalam mA terhadap daya optik yang diserap dalam mW pada panjang gelombang tertentu (Paschotta, 2020).

Menurut Pandiangan (2007), penggunaan fotodiode pada mode *photovoltaic* (PV) tidak linier dalam *range* yang dinamis, sensitivitas rendah, dan memiliki *noise* yang rendah pada frekuensi di bawah 100kHz. Mode operasi yang banyak digunakan adalah mode *photocurrent* (PC) karena arus yang dihasilkan linier terhadap jumlah fluks cahaya dengan intensitas tertentu, dan respon frekuensinya lebih tinggi. Mode *photocurrent* bisa dicapai dengan menempatkan fotodiode dalam kondisi bias terbalik.

Fotodiode sering digunakan untuk kecepatan tinggi. Kecepatan respon dipengaruhi efek kapasitansi parasit pada fotodiode. Kapasitansi parasit dapat diminimalisir dengan mengurangi luas permukaan *cell* nya. Contohnya sensor pada sambungan fiber optik berkecepatan tinggi memiliki luas permukaan hanya sekitar 1mm^2 (Katriana et al., 2015).

Fotodiode memiliki kemiripan dengan fototransistor. Fototransistor adalah jenis transistor bipolar dengan kontak (*junction*) *base-collector* untuk menerima

cahaya. Komponen pada fototransistor memiliki sensitivitas yang lebih baik dibanding dengan fotodioda. Hal ini disebabkan elektron yang ditimbulkan oleh foton cahaya pada *junction* diinjeksikan di bagian *base* dan diperkuat di bagian kolektornya. Sensitivitas menunjukkan besar kepekaan sensor terhadap kuantitas yang diukur. Selain sensitivitas, fototransistor dan fotodioda dibedakan dari kemampuan waktu responnya. Waktu respon adalah waktu yang diperlukan keluaran sensor untuk mencapai nilai akhirnya pada nilai masukan yang berubah secara mendadak. Sensor harus berubah secara cepat jika nilai masukan pada sistem tersebut berubah. Waktu respon dari fototransistor lebih lambat dibandingkan fotodioda. Fotodioda mempunyai respon lebih cepat daripada fototransistor (Ardriansyah, 2012).

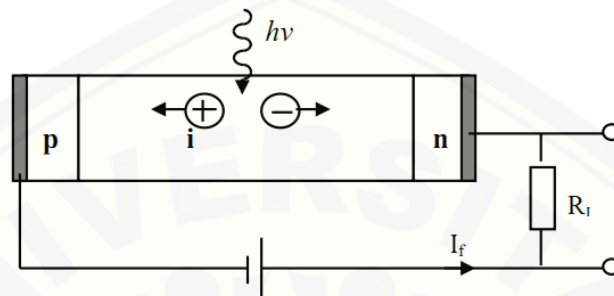
Karakteristik dari fotodioda yaitu komponen ini dikemas dengan plastik transparan yang berfungsi sebagai lensa fresnel. Lensa tersebut berupa lensa cembung yang berfungsi untuk mengumpulkan cahaya dan memfilter cahaya (*optical filter*). Lensa sebagai *optical filter* hanya dapat melewatkan cahaya tertentu. Faktor lain yang berpengaruh pada kemampuan penerima cahaya adalah *active area* dan *respons time*. Semakin besar area penerimaan suatu fotodioda maka semakin besar intensitas cahaya yang dikumpulkan. Kelemahan dari semakin besarnya area penerimaan adalah *noise* yang dihasilkan juga semakin besar. Area penerimaan juga mempengaruhi respon frekuensinya. Semakin besar area penerimaan maka semakin turun respon frekuensi dan semakin kecil area penerimaan maka frekuensi akan semakin tinggi (Arifin, 2004).

2.4 Fotodioda *p-i-n Junction*

Syarat yang diperlukan dari suatu fotodioda adalah memiliki kepekaan tinggi dalam daerah panjang gelombang tertentu, *noise* yang rendah, respon cepat, dan tidak peka terhadap variasi suhu. Ada dua jenis fotodioda semikonduktor yaitu fotodioda *p-i-n* dan fotodioda APD (Keiser, 1992). Di dalam penelitian ini, analisis karakteristik fotodioda difokuskan pada jenis fotodioda *p-i-n*.

Fotodioda *p-i-n* adalah sebuah fotodioda dengan lapisan tambahan diantara daerah P dan N. Struktur intrinsik yang ditambahkan diantara kedua lapisan tersebut

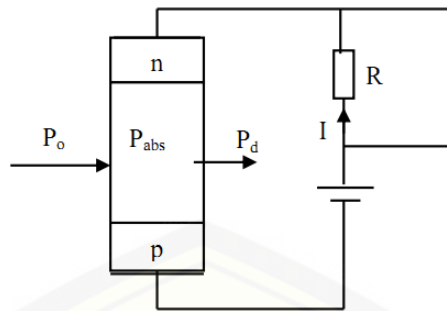
dapat meningkatkan jarak antara lapisan P dan N. Hal ini dapat menyebabkan kapasitansi menurun dan kecepatan meningkat. Volume dari daerah yang sensitif terhadap cahaya (*photosensitive*) dan efisiensi konversi cahaya menjadi listrik juga meningkat. Fotodiode *p-i-n* memiliki sensitifitas yang tinggi dan kecepatan yang tinggi dengan harga yang tidak terlalu mahal (Keiser, 1992).



Gambar 2.3. Fotodiode P-I-N dengan tegangan terbalik
(Sumber: Keiser, 1992)

Fotodiode *p-i-n* dibangun dari semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang dipisahkan dengan bagian-i yang merupakan semikonduktor intrinsik yang dikotori dengan sedikit tipe-n. Tegangan yang digunakan pada fotodiode *p-i-n* adalah tegangan terbalik yang cukup tinggi, sehingga bagian-i kosong dari elektron-hole. Pada saat foton dengan energi sebesar $h\nu$, yang setara dengan besarnya energi gap, mengenai bagian-i, maka foton akan menciptakan pasangan elektron-hole. Elektron naik ke pita konduksi meninggalkan lubang di pita valensi. Bagian elektron ini bertindak sebagai *carrier* (disebut *photocarrier*). *Carrier* selanjutnya berubah menjadi arus listrik I_f (*photocurrent*) yang mengalir melalui hambatan R_L (Millman et. al., 1979).

Ukuran lapisan penipisan (bagian-i) dapat disesuaikan sehingga perangkat tersebut mempunyai sensitivitas tinggi dan waktu timbul yang pendek (pada frekuensi tinggi). Ketika ketebalan lapisan penipisan ditambah akan menyebabkan sensitivitas tinggi (Agrawal, 2012).



Gambar 2.4. Daya terabsorpsi pada daerah-i
(Sumber : Agrawal, 2012)

Gambar 2.4 memperlihatkan daya-daya yang terlibat pada suatu dioda *p-i-n*, dimana P_0 adalah daya sinar yang memasuki dioda, P_{abs} adalah daya sinar yang terserap dan P_d daya sinar yang keluar dari dioda. Jika d adalah tebal dioda dan α adalah koefisien absorpsi bahan-i, maka daya yang keluar adalah :

$$P_d = P_0 e^{-d\alpha} \quad (2.3)$$

Daya yang diserap oleh bahan adalah :

$$P_{abs} = P_0 - P_d = P_0 (1 - e^{-d\alpha}) \quad (2.4)$$

Daya terabsorpsi dipakai untuk pembentukan *photocarrier*, yang selanjutnya menjadi *photocurrent*. Dengan demikian berlaku :

$$P_{abs} = \frac{hv}{e} I_f \quad (2.5)$$

Berdasarkan rumus (2.4) dan (2.5) diperoleh hubungan :

$$I_f = \frac{e}{hv} P_0 (1 - e^{-d\alpha}) \quad (2.6)$$

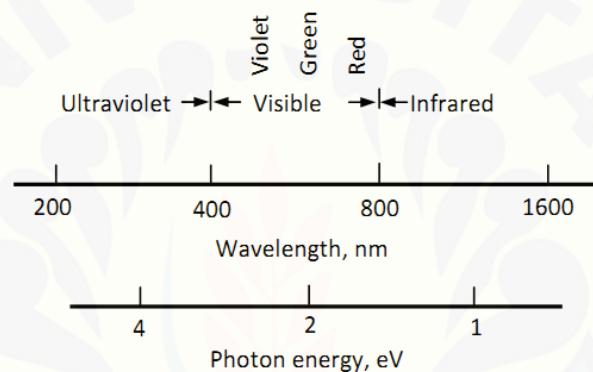
Efisiensi kuantum fotodioda adalah perbandingan antara jumlah *photocurrent* yang dihasilkan dengan jumlah foton yang memasuki fotodioda, jadi didapatkan rumus :

$$\eta Q = \frac{I_f hv}{P_0 e} \quad (2.7)$$

2.5 Cahaya Sebagai Gelombang Elektromagnetik

Fotodioda adalah jenis dioda yang berfungsi mendeteksi cahaya. Komponen elektronika ini akan mengubah cahaya menjadi arus listrik. Cahaya yang dapat dideteksi oleh fotodioda mulai dari cahaya inframerah, cahaya tampak, ultraungu, sampai sinar-X. Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik yang memiliki

spektrum warna berbeda satu sama lain. Setiap warna dalam spektrum mempunyai energi, frekuensi, dan panjang gelombang yang berbeda. Frekuensi foton bergantung pada energi yang dilepas atau diterima saat elektron berpindah tingkat energinya. Spektrum gelombang optik diperlihatkan pada Gambar 2.5. Spektrum warna cahaya terdiri dari ultra violet dengan panjang gelombang 200 sampai 400 nm, visible adalah spektrum warna cahaya yang dapat dilihat oleh mata dengan panjang gelombang 400 sampai 800 nm. Warna visible meliputi warna violet, hijau, dan merah. Terakhir adalah spektrum warna infrared mulai dari 800 sampai 1600 nm (Jones dan Chiulders, 1994).



Gambar 2.5. Spektrum gelombang elektromagnetik
(Sumber : Jones dan Chiulders, 1994)

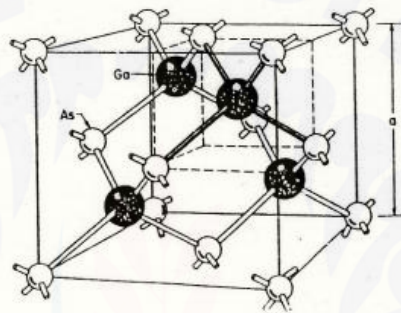
2.6 Bahan Semikonduktor GaAs

Semikonduktor adalah bahan dengan konduktivitas listrik yang berada diantara isolator dan konduktor. Berdasarkan kemurniannya, bahan semikonduktor dibedakan menjadi dua jenis yaitu semikonduktor murni dan campuran. Bahan semikonduktor murni yaitu terdiri dari unsur silikon (Si) atau germanium (Ge) disebut semikonduktor intrinsik. Selain itu, dikenal pula bahan semikonduktor campuran, yang terdiri dari bahan semikonduktor instrinsik dan unsur golongan VA atau golongan IIIA, yang disebut sebagai semikonduktor ekstrinsik (Sutrisno, 1986).

Fotodiode terbuat dari bahan semikonduktor. Bahan yang digunakan adalah silikon (Si), galium arsenida (GaAs), indium antimonide (InSb), indium arsenide (InAs), dan timah sulfida (PbS). Bahan-bahan tersebut dapat menyerap cahaya melalui karakteristik jangkauan panjang gelombang tertentu. Contohnya GaAs

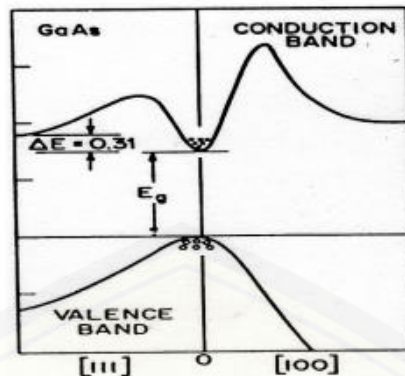
dapat menyerap cahaya pada panjang gelombang 800 nm sampai 2,0 μm (Kittel, 1976). Oleh karena itulah, GaAs dikenal sebagai salah satu bahan semikonduktor yang dapat mendeteksi panjang gelombang infrared.

Bahan semikonduktor galium dan arsenide adalah unsur golongan III dan V dalam susunan berkala. GaAs memiliki struktur kristal. Struktur tersebut mempunyai ikatan kovalen, yaitu ikatan yang terjadi karena pemakaian elektron bersama-sama. Kristal GaAs mempunyai struktur tetrahedral, dimana atom Ga dikelilingi oleh empat atom As, dan sebaliknya. Atom As dikelilingi oleh empat atom Ga terdekat (Sze, 1985).



Gambar 2.6. Struktur kristal GaAs berbentuk tetrahedral
(Sumber : Sze, 1985)

Atom Ga pada unsur GaAs terletak di pusat, dihubungkan secara tetrahedral dengan empat atom As membentuk delapan sp^3 hybridized orbital dan terpisah menjadi empat orbital *bonding* dan empat orbital *antibonding*. Keadaan *bonding* membentuk pita valensi dan keadaan *antibonding* membentuk pita konduksi. Kristal GaAs memiliki lebar energi *bandgap* pada suhu kamar 300K sebesar 1,42eV. GaAs adalah bahan semikonduktor dengan energi *bandgap* langsung (*direct bandgap*). *Direct bandgap* terjadi karena GaAs tidak memiliki momentum tambahan (Gambar 2.7), sehingga antara minimum pita konduksi dengan maksimum pita valensi terletak segaris lurus (Takahashi dan Konagi, 1986).



Gambar 2.7. Struktur pita energi GaAs
(Sumber : Takahashi dan Konagi, 1986)

Subekti (2003) menyatakan bahwa pada semikonduktor GaAs, atom As berperan sebagai atom donor dan atom Ga sebagai akseptor. Hal ini terjadi karena atom As lebih negatif dari atom Ga dan atom Ga lebih positif daripada atom As. Galium memiliki tiga elektron valensi karena termasuk golongan IIIA dan arsenide memiliki lima elektron valensi karena termasuk golongan VA.

2.7 Persamaan Poisson dan Kontinuitas

Bahan semikonduktor yang diaplikasikan pada fotodioda akan menghasilkan arus listrik. Adanya muatan listrik yang terjadi akan menimbulkan medan listrik. Hubungan antara muatan listrik dan medan listrik pada bahan digambarkan melalui persamaan Poisson (Tipler, 1998). Persamaan Poisson menjelaskan perubahan medan listrik karena adanya pembawa muatan. Perubahan medan listrik suatu bahan sebanding dengan konsentrasi pembawa muatan dan berbanding terbalik dengan permitivitas bahan. Persamaan Poisson dituliskan sebagai berikut (Giancoli, 2001):

$$\nabla \cdot \vec{E} = -\frac{q}{\epsilon} (-p + n - N_D^+ + N_A^-) \quad (2.8)$$

Keterangan: ϵ = Permitivitas bahan (F/cm)

\vec{E} = Medan listrik (volt/cm)

p = Konsentrasi hole (cm^{-3})

n = Konsentrasi elektron (cm^{-3})

N_D^+ = Konsentrasi atom donor (cm^{-3})

$$N_A^- = \text{Konsentrasi atom akseptor (cm}^{-3}\text{)}$$

Adapun persamaan kontinuitas pembawa muatan untuk rapat arus elektron dan *hole* adalah (Danielsson, 2000) :

$$\frac{1}{q} \nabla \cdot J_n = R - G \quad (2.9)$$

$$\frac{1}{q} \nabla \cdot J_p = G - R \quad (2.10)$$

Keterangan : J_n = Rapat arus elektron (A/cm^2)

J_p = Rapat arus *hole* (A/cm^2)

G = Laju generasi ($cm^{-2}s^{-1}$)

R = Laju rekombinasi ($cm^{-2}s^{-1}$)

Subekti (2003) menyebutkan masa generasi adalah keadaan ketika elektron dan *hole* muncul tiap satuan detik per meter kubik. Masa rekombinasi adalah proses elektron dan *hole* menjadi suatu pasangan (menyatu). Elektron dan *hole* pada bahan semikonduktor yang bergerak dapat melakukan rekombinasi dan menghilang. Laju rekombinasi (R) tergantung pada jumlah muatan yang ada. R akan berharga rendah jika elektron dan *hole* berjumlah sedikit, sebaliknya R akan berharga tinggi jika tersedia banyak elektron dan *hole*. Secara umum dapat dituliskan sebagai berikut :

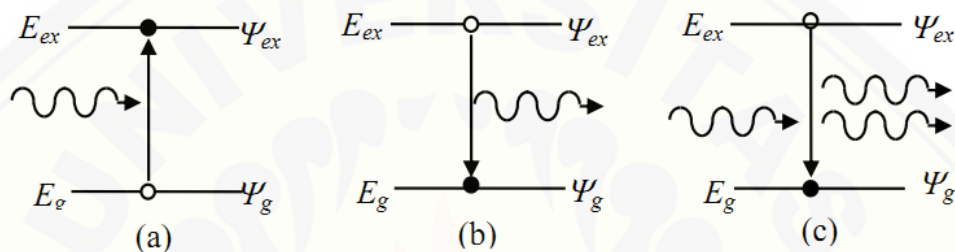
$$R = rnp \quad (2.11)$$

dimana R adalah laju rekombinasi, r adalah konstanta proporsionalitas bahan, n adalah konsentrasi elektron, dan p adalah konsentrasi *hole*. Dalam keadaan setimbang, besar laju generasi sama dengan besar laju rekombinasi.

2.8 Interaksi Cahaya dengan Materi

Dalam sistem penguatan optik dua tingkat, atom-atom dapat menduduki satu dari dua tingkat energi E_1 dan E_2 yang dipisahkan oleh celah energi $E = E_1 - E_2$. Ketika terjadi eksitasi maka energi atom bertambah sehingga atom berpindah dari tingkat energi E_1 ke tingkat energi E_2 , sebaliknya atom-atom dapat kehilangan energinya dan berpindah dari tingkat energi E_1 ke E_2 . Transisi atom antar kedua tingkat energi digambarkan dengan akurat oleh mekanika kuantum (Muchiar,

2007). Atom yang mengalami transisi diantara kedua tingkat energi dapat mengemisi atau mengabsorpsi foton. Di bawah keadaan normal, atom akan berada pada tingkat yang lebih rendah karena sistem fisis cenderung stabil pada kondisi energi terendah. Ketika ada foton yang datang, atom-atom tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi, dan kembali ke kondisi dasar dengan melepaskan foton dengan energi sebesar E . Terdapat tiga macam bentuk interaksi yang terjadi antara cahaya dan materi bahan yaitu absorpsi, emisi spontan, dan emisi terstimulasi (Chandler, 1987).



Gambar 2.8 Absorpsi (a), emisi spontan (b), emisi terstimulasi (c)
(Sumber : Chandler, 1987)

2.8.1 Absorpsi

Proses tereksitasinya elektron dari tingkatan energi E_1 ke E_2 terjadi akibat adanya penyerapan foton dengan energi $h\nu > (E_2 - E_1)$, dimana h adalah konstantan Plank yang besarnya $6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s. Energi masukan akan berkurang sebanding dengan jumlah yang telah diabsorpsi oleh sistem atom. Pada kondisi kesetimbangan termal, absorpsi foton rata-rata harus sebanding dengan jumlah rata-rata emisi stimulasi dan spontan (Shiraz, 1996).

2.8.2 Emisi Spontan

Menurut Sunarno (2001), emisi spontan adalah proses radiasi acak dimana atom yang berada pada keadaan tereksitasi E_2 mengalami transisi ke keadaan energi dasar E_1 , sehingga melepaskan energi E dalam bentuk foton.

Waktu hidup (*lifetime*) emisi spontan ($\tau_{21\text{ sp}}$) didefinisikan sebagai waktu rata-rata atom bertahan pada keadaan tereksitasi sebelum berperan dalam emisi spontan. Nilainya sebanding dengan $1 / A_{21}$. Peluang atom-atom mengalami transisi

spontan pada waktu dt adalah $A_{21}dt$. Kerapatan populasi pada keadaan tereksitasi adalah :

$$N_2 = N_0^2 \exp\left(-\frac{1}{\tau_{21sp}}\right) \quad (2.12)$$

dengan N_0^2 adalah nilai dari N_2 pada $t = 0$. Persamaan (2.12) memberikan fakta bahwa jika sistem atom menghasilkan emisi spontan, maka N_2 menjadi penyebab timbulnya kerapatan populasi pada N_1 di kondisi energi yang lebih rendah (Suematsu et. al., 1982).

Hwang (1970) menyatakan bahwa persamaan yang menghubungkan antara energi foton dan atom tereksitasi (A^*) untuk emisi spontan adalah:

$$A^* \rightarrow A + h\nu \quad (2.13)$$

Tingkat energi spontan per satuan volume dan per unit energi dinyatakan melalui persamaan :

$$\gamma_{sp}(h\nu) = \int B' \rho_v(-E) [1 - f_v(E)] \times \rho_c(h\nu - E_g + E) f_c(h\nu - E_g + E) dE \quad (2.14)$$

Keterangan : ρ_c = Rapat keadaan pada pita konduksi

ρ_v = Rapat keadaan pita valensi

f_c = Fungsi Fermi untuk elektron pita konduksi

f_v = Fungsi Fermi untuk elektron pita valensi

B' = Konstanta rekombinasi (cm^{-2}/s)

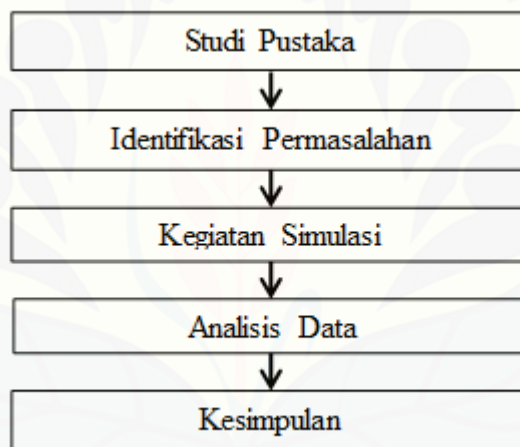
2.8.3 Emisi Terstimulasi

Sunarno (2001) menyebutkan bahwa foton dengan energi disekitar energi eksitasi berpeluang menstimulasi atom-atom untuk memancarkan radiasi saat transisi ke tingkat energi yang lebih rendah, jika tidak maka atom-atom hanya akan bertransisi secara spontan tanpa mengemisi radiasi.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian dimulai pada bulan Mei 2020. Tempat pelaksanaan penelitian adalah Laboratorium Fisika Komputasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Universitas Jember. Kegiatan yang dilakukan adalah mensimulasikan suatu data untuk mendapatkan fenomena fisis dari formulasi matematis yang telah dihitung sebelumnya. Diagram alir kegiatan simulasi ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir kegiatan penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mensimulasikan mekanisme devais fotodiode semikonduktor galium arsenida (GaAs). Tahapan yang dilakukan diawali mencari referensi mengenai penelitian yang dilakukan. Setelah itu, indentifikasi tentang permasalahan emisi spontan pada fotodiode GaAs. Langkah selanjutnya, permasalahan yang ada diselesaikan secara simulasi menggunakan komputer. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* COMSOL Multiphysic 5.2a. Simulasi pada komputer menghasilkan data penelitian berupa kurva emisi spontan. Selanjutnya, kurva tersebut akan dianalisis agar dapat ditarik suatu kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

3.2 Jenis dan Sumber Data

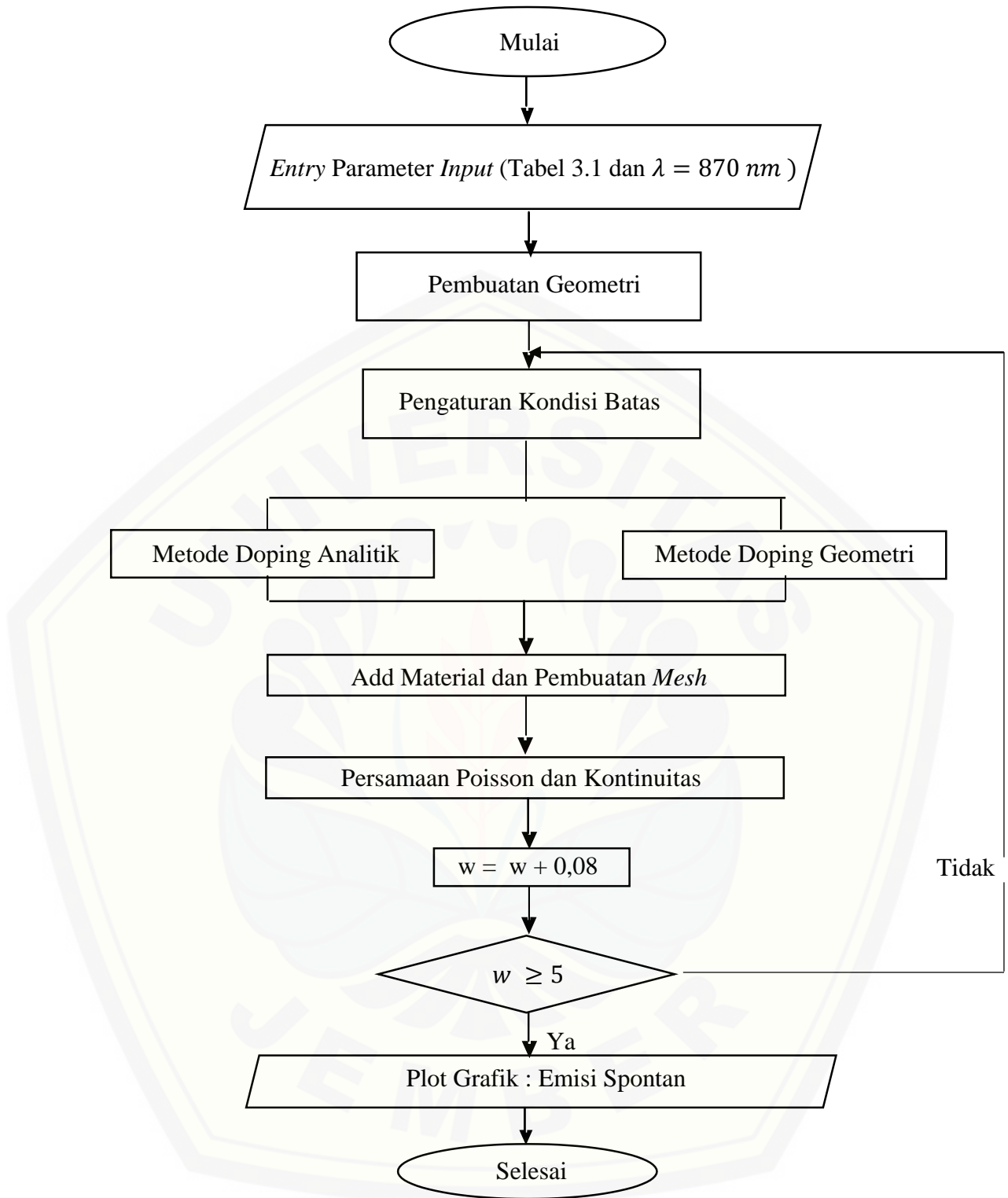
Penelitian dilakukan secara simulasi agar didapatkan analisis tentang pengaruh variasi lebar dan ketebalan bahan terhadap emisi spontan pada fotodioda GaAs *p-i-n junction*. Hasil penelitian berupa kurva emisi spontan yang menyatakan hubungan energi foton dan daya emisi foton per satuan unit panjang. Hasil data penelitian diperoleh berdasarkan perhitungan secara matematis yang bersifat kuantitatif. Adapun data yang digunakan untuk penelitian adalah data sekunder. Parameter *input* diperoleh dari data *sheet* semikonduktor dan seluruh data yang akan dipakai pada penelitian tercantum pada Tabel 3.1.

3.3 Variabel Penelitian

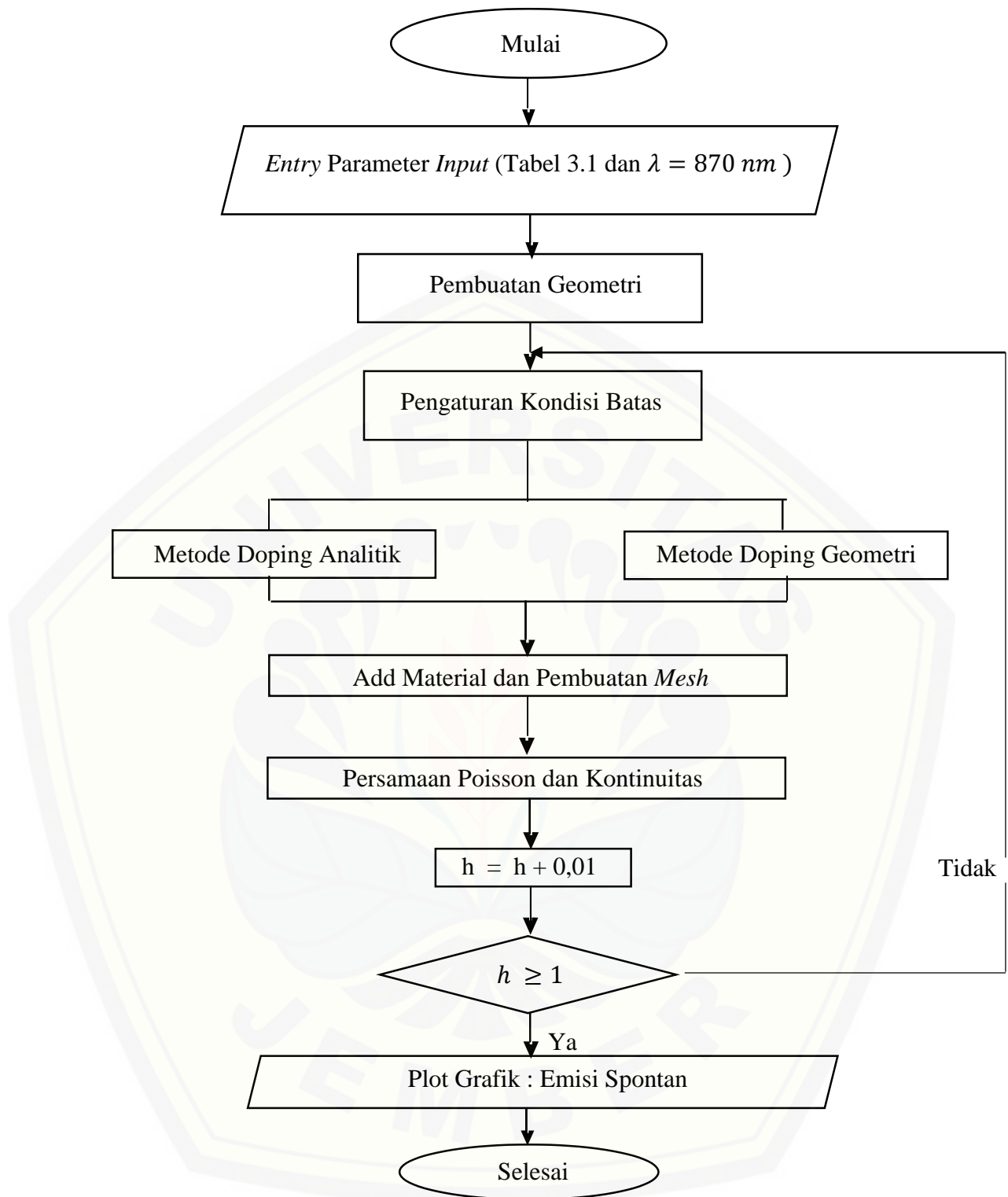
Data yang divariasi pada penelitian ini adalah nilai lebar devais bahan dan ketebalan devais bahan untuk menghitung daya emisi spontan yang terjadi. Nilai lebar devais bahan divariasi dari (1-5) μm dan ketebalan devais bahan divariasi dari (0,5-1) μm . Alasan memvariasikan ukuran bahan pada penelitian ini adalah untuk mencari pengaruh emisi spontan yang terjadi terhadap ukuran fotodioda sehingga dapat diidentifikasi efisiensi ukuran yang tepat untuk fotodioda tersebut.

3.4 Kerangka Pemecahan Masalah

Kerangka pemecahan masalah yang akan disampaikan pada bagian ini berisi tahapan perolehan data yang diawali dari identifikasi permasalahan, dilanjutkan dengan proses simulasi sampai dengan informasi yang akan diperoleh. Seluruh rangkaian pemecahan masalah ditunjukkan melalui diagram alir pemecahan masalah pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3



Gambar 3.2 Diagram alir dari kegiatan simulasi emisi spontan pada fotodiode GaAs *p-i-n junction* untuk mengetahui pengaruh variasi lebar bahan



Gambar 3.3 Diagram alir dari kegiatan simulasi emisi spontan pada fotodiode GaAs *p-i-n junction* untuk mengetahui pengaruh variasi ketebalan bahan

3.4.1 Identifikasi Permasalahan dan Studi Pustaka

Identifikasi masalah dilakukan pada bulan Maret 2020. Permasalahan yang didapatkan yaitu bagaimana pengaruh variasi lebar bahan dari 1-5 μm dan variasi ketebalan bahan dari 0,5-1 μm terhadap besarnya daya emisi spontan yang dihasilkan fotodiode GaAs. Kegiatan simulasi dilakukan untuk mengetahui fenomena terjadinya emisi spontan pada fotodiode *p-i-n junction* agar diketahui mekanisme dan performa kerja dari fotodiode tersebut. Simulasi dimulai dengan pemilihan jenis dan ukuran bahan, penentuan parameter input yang akan digunakan, dan variasi data untuk menghasilkan emisi spontan pada fotodiode .

3.4.2 Proses Simulasi

Program yang digunakan untuk melakukan simulasi adalah *software* COMSOL Multiphysic 5.2a. Langkah awal yang dilakukan adalah menentukan parameter *input* yang akan digunakan, jenis bahan, dan ukuran bahan. Langkah kedua adalah pembuatan geometri bahan GaAs fotodiode *p-i-n junction* dengan *software* COMSOL Multiphysic 5.2a. Langkah ketiga yaitu pengaturan kondisi batas setiap lapisan tipe-p dan tipe-n, kondisi batas lapisan dengan kontak logam, dan kondisi batas sambungan antar lapisan. Langkah keempat, dilakukan penyelesaian menggunakan persamaan Poisson dan Kontinuitas pembawa muatan. Langkah kelima yaitu pemilihan jenis material yang digunakan dan pembuatan *mesh* pada geometri. Tahap terakhir simulasi adalah pembentukan kurva emisi spontan agar didapatkan hubungan energi foton terhambur dengan daya emisi fotonnya.

a. Parameter *Input*

Parameter *input* yang digunakan berupa parameter karakteristik material semikonduktor GaAs. Parameter ini diperoleh dari referensi jurnal dan penelitian melalui eksperimen maupun simulasi yang dilakukan sebelumnya. Parameter *input* ditunjukkan pada Tabel 3.1.

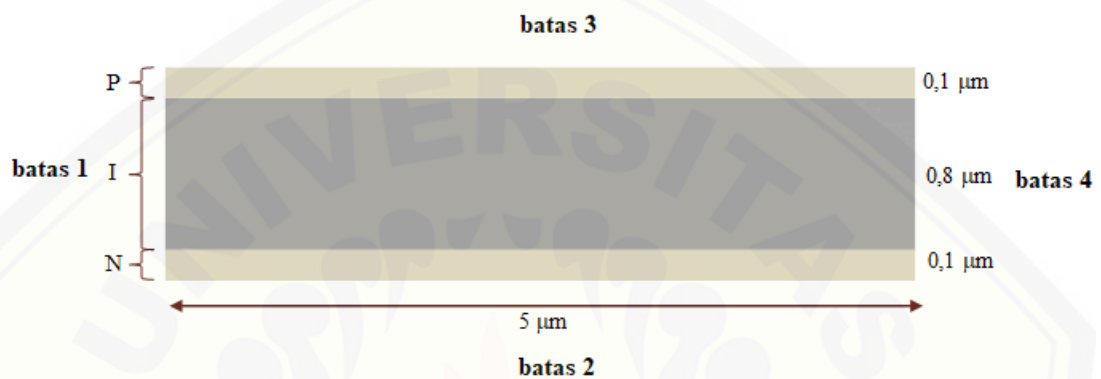
Tabel 3.1 Parameter *Input*

Parameter	Keterangan	Nilai
Q	Muatan elektron	$1,602 \times 10^{-19}$ C
T	Temperatur ruang	300 K
K	Konstanta Boltzman	$1,38 \times 10^{-23}$ J/K
w_dom	Lebar devais	5×10^{-6} m
h_dom	Tebal devais	1×10^{-6} m
V_n	Tegangan tipe-n	2 V
V_p	Tegangan tipe-p	0 V
hbar0	Konstanta Plank	$6,626 \times 10^{-34}$ Js
Lamda0	Panjang gelombang	$8,7 \times 10^{-7}$ m
F0	Frekuensi	$3,4459 \times 10^{14}$ 1/s
Omega0	Frekuensi sudut	$2,1651 \times 10^{15}$ rad/s
E_ph	Energi foton	$2,2833 \times 10^{-19}$ J
n0	Refraktif index GaAs	3,5
Tau	<i>Lifetime</i> spontan	2×10^{-9} s
Pin	Daya <i>Input</i>	10 W
Epsilon	Permitivitas relatif	13,1 F/cm (Slimane et al., 2013)
Eg0	Energi gap	1,42 eV (Slimane et al., 2013)
Mun	Mobilitas elektron	8500 cm/ Vs (Slimane et al., 2013)
Mup	Mobilitas <i>hole</i>	400 cm/Vs (Slimane et al., 2013)
Rho	Massa jenis	5500 kg/m ³

b. Geometri Fotodioda

Geometri fotodioda diaplikasikan dalam bidang dua dimensi (2D). Geometri devais diatur sesuai dengan ukuran yang ada pada parameter *input*. Struktur devais terdiri dari 1 domain yang memiliki 4 batasan. Batas 1 dan 4 menunjukkan daerah batas yang tidak melakukan kontak dengan logam. Batas 2 menunjukkan daerah semikonduktor tipe-n berbatasan dengan logam dan batas 3 menunjukkan daerah semikonduktor tipe-p berbatasan dengan logam. Geometri

pada fotodiode GaAs ditunjukkan pada Gambar 3.4. Pada penelitian ini, variasi ukuran devais diterapkan dengan memvariasikan ketebalan dan lebar dari devais bahan. Ketika memvariasikan ketebalan dari devais bahan, ketebalan dari lapisan-p dan lapisan-n dibuat sepersepuluh dari ketebalan total. Lapisan-i (intrinsik) diperoleh dari besar ketebalan yang divariasasi dikurangi dengan ketebalan lapisan-p ditambah dengan ketebalan lapisan-n.



Gambar 3.4 Geometri fotodiode GaAs

c. Pengaturan Kondisi Batas

Syarat batas pada simulasi yang dilakukan menggambarkan mekanisme transport pembawa muatan. Pengaturan model doping dilakukan secara analitik dan geometri pada lapisan semikonduktor. Pengaturan secara analitik bertujuan untuk memberi informasi besar impuritas bahan melalui pengaturan nilai konsentrasi donor dan akseptor pada lapisan tipe-p dan tipe-n. Pengaturan geometris bertujuan untuk membuat lapisan bahan yang akan didoping, yakni terletak pada bagian atas dan bawah devais, dan bertujuan agar menambah efisiensi dari kontak logam. Persamaannya dituliskan sebagai berikut :

$$N_A = N_A^{\text{prev}} + N_{A0} \exp \left[- \left(\frac{r}{l_d} \right)^2 \right] \quad (3.1)$$

$$N_D = N_D^{\text{prev}} + N_{D0} \exp \left[- \left(\frac{r}{l_d} \right)^2 \right] \quad (3.2)$$

$$l_d = \frac{d_j}{\sqrt{\ln \left(\left| \frac{N_{A0}}{N_b} \right| \right)}} \quad (3.3)$$

keterangan: $N_{A/D}$ = Konsentrasi atom akseptor / donor

$$N_A^{\text{prev}} = N_D^{\text{prev}} = \text{Konsentrasi pembawa muatan bebas}$$

$$N_{A0} = N_{D0} = \text{Konsentrasi dopan pada batas}$$

$$N_b = \text{Konsentrasi } \textit{background} \text{ doping}$$

$$r = \text{Jarak profil } \textit{dopant} \text{ dari batas yang dipilih geometri}$$

$$l_d = \text{Panjang peluruhan}$$

$$d_j = \text{Junction depth } (\mu\text{m})$$

Banyaknya impuritas akseptor (*acceptor doping*) pada lapisan tipe-p dinyatakan melalui persamaan sebagai berikut :

$$N_A = N_A^{\text{prev}} + N_{A0}, N_D = N_D^{\text{prev}} \quad (3.4)$$

Banyak impuritas donor (donor doping) atau jumlah elektron pada lapisan tipe-n ditentukan melalui persamaan berikut :

$$N_D = N_D^{\text{prev}} + N_{D0}, N_A = N_A^{\text{prev}} \quad (3.5)$$

Pengaturan syarat batas geometri juga ditunjukkan pada daerah batas yang tidak mengalami kontak dengan logam. Syarat-syarat batas dituliskan sebagai berikut :

$$\hat{n} \cdot \vec{E} = 0 \quad (3.6)$$

$$\hat{n} \cdot J_n = 0 \quad (3.7)$$

$$\hat{n} \cdot J_p = 0 \quad (3.8)$$

dimana : \hat{n} = Vektor satuan normal permukaan

\vec{E} = Vektor medan listrik

J_n = Rapat arus elektron

J_p = Rapat arus *hole*

Kondisi batas diatas disebut sebagai kondisi batas Neumann. Kondisi batas Neumann digunakan untuk daerah 1 dan 4 yang tidak terkontak dengan logam. Berikutnya, kondisi batas yang terkontak dengan logam pada permukaan atas tipe-p dengan tegangan 0 V dan permukaan bawah tipe-n dengan tegangan 2 V. Rumus yang digunakan untuk menyelesaikannya adalah :

$$n = \frac{1}{2}(N_d^+ - N_a^-)^2 + \frac{1}{2}\sqrt{(N_d^+ - N_a^-)^2 + 4\gamma_n\gamma_p n_{i,eff}^p} \quad (3.9)$$

$$p = -\frac{1}{2}(N_d^+ - N_a^-)^2 + \frac{1}{2}\sqrt{(N_d^+ - N_a^-)^2 + 4\gamma_n\gamma_p n_{i,eff}^p} \quad (3.10)$$

dimana : N_d^+ = Konsentrasi atom donor terionisasi (cm^{-3})

N_a^- = Konsentrasi atom akseptor terionisasi (cm^{-3})

γ_n = Faktor degenerasi elektron

γ_p = Faktor degenerasi *hole*

$n_{i,eff}^p$ = Konsentrasi intrinsik yang efektif

(Boas & Marry, 1983).

d. Material dan *Mesh*

Tahapan kelima adalah pemilihan material untuk bahan fotodiode p-i-n *junction*. Material yang digunakan adalah bahan semikonduktor galium arsenida (GaAs) yang spesifikasinya telah dituliskan pada parameter *input* di Tabel 3.1. Berikutnya yaitu pembuatan *mesh* pada geometrinya. Banyak elemen *mesh* yaitu 500.

e. Persamaan Poisson dan Kontinuitas Pembawa Muatan

Persamaan yang mendasari bahan semikonduktor yang harus diselesaikan adalah persamaan Poisson dan Kontinuitas pembawa muatan. Persamaan Poisson adalah persamaan yang menghubungkan antara muatan listrik dan medan listrik pada bahan semikonduktor. Persamaan Poisson didefinisikan oleh persamaan (2.8). Adapun persamaan kontinuitas dari elektron dan *hole* didefinisikan oleh persamaan (2.9).

Persamaan untuk rapat arus elektron dan rapat arus *hole* didapatkan melalui rumusan berikut :

$$J_n = qn\mu_n \nabla E_c + \mu_n k_B T \nabla n + qnD_n \nabla \ln(T) \quad (3.11)$$

$$J_p = qn\mu_p\nabla E_c + \mu_p k_B T \nabla_p + qnD_p \nabla \ln(T) \quad (3.12)$$

dimana μ_n dan μ_p adalah mobilitas pembawa muatan. D_n dan D_p mendefinisikan difusivitas pembawa muatan (Hamady et al., 2012).

f. Kurva emisi spontan

Tahapan terakhir adalah membuat kurva data emisi spontan fotodioda terhadap variasi nilai lebar dan ketebalan bahan devais. Kurva menghubungkan sumbu x dan y, dimana sumbu x mendefinisikan besar energi foton yang terhambur oleh cahaya, sedangkan sumbu y mendefinisikan besar daya emisi yang dihasilkan. Lebar dan ketebalan bahan divariasikan, yaitu untuk lebar dimulai dari 1 μm sampai 5 μm dengan rentang sebesar 0,08 μm , sedangkan untuk tebal dimulai dari 0,5 μm sampai 1 μm dengan rentang sebesar 0,01 μm . Setelah kurva emisi spontan diperoleh akan dilakukan analisis dan ditarik suatu kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

3.5 Analisa Data

Hasil yang akan didapatkan pada penelitian ini berupa kurva emisi spontan GaAs. Kurva emisi spontan menunjukkan hubungan antara besar energi foton yang terhambur oleh cahaya terhadap daya emisi yang dihasilkan fotodioda. Lebar dan ketebalan bahan divariasikan, yaitu untuk lebar dimulai dari 1 μm sampai 5 μm dengan rentang sebesar 0,08 μm , sedangkan untuk tebal dimulai dari 0,5 μm sampai 1 μm dengan rentang sebesar 0,01 μm . Kurva yang didapatkan akan dianalisis berdasarkan pengaruh dari variasi lebar dan ketebalan bahan devais terhadap daya emisi pada fotodioda. Hasil analisis dibandingkan dengan literatur yang ada kemudian dapat ditarik sebuah kesimpulan.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan dijelaskan sebagai berikut :

1. Nilai daya emisi spontan fotodioda GaAs didapatkan ketika energi foton terhambur bernilai 1,425eV dimana energi tersebut bersesuaian dengan energi *bandgap* dari galium arsenida.
2. Pada ketebalan dengan variasi sebesar $(0,5 - 1)\mu\text{m}$ didapatkan hasil pada ketebalan paling tipis maka nilai daya emisi spontan maksimum yang dihasilkan menunjukkan nilai paling besar, hal ini dapat dilihat pada ketebalan variasi terkecil yaitu $0,5\mu\text{m}$ nilai daya emisi spontan maksimum menunjukkan nilai tertinggi mencapai $2,47 \times 10^{26}(\text{m}^{-3}\text{s}^{-1})$.
3. Pada lebar dengan variasi sebesar $(1 - 5)\mu\text{m}$ didapatkan hasil pada lebar terkecil maka daya emisi spontan maksimum yang dihasilkan menunjukkan nilai paling besar, hal ini dapat dilihat pada lebar variasi terkecil yaitu $1\mu\text{m}$ nilai daya emisi spontan maksimum menunjukkan nilai tertinggi mencapai $1,11 \times 10^{19}(\text{m}^{-3}\text{s}^{-1})$.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan agar penelitian selanjutnya menjadi lebih baik adalah penelitian dapat dikembangkan untuk meneliti beberapa parameter lain yang berhubungan dengan emisi spontan pada fotodioda sehingga dapat dilihat pengaruh dari masing-masing parameter terhadap emisi spontannya. Selanjutnya, dapat digunakan penelitian untuk bentuk 3D (3 dimensi) agar didapatkan hasil grafik yang lebih detail. Penelitian dapat dilakukan pada material selain galium arsenida (GaAs), agar diketahui perubahan dan pengaruhnya jika digunakan bahan material yang berbeda. Hasil penelitian yang didapatkan selanjutnya dapat dibuktikan melalui penelitian secara eksperimen.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, G. P. 2012. *Fiber-Optic Communication Systems*. New York: John Wiley & Sons.
- Apriano, T. 2012. Perancangan System Pendeteksi Asap Tipe Fotoelektrik Berbasis Mikrokontroler dan Aplikasinya dalam Pengukuran Optik Density. Depok: Universitas Indonesia.
- Ardriansyah, A. 2012. *Dasar Elektronika: Modul 2 Teori Semikonduktor*. Jakarta: UMB.
- Arifin, I. 2004. *Elektronika I*. Depok: Universitas Gunadarma.
- Balya Ahmad, Pratiwan Nopianto, Syarif. 1987. *Kajian Aplikasi Metode Hamburan Compton Energi Ganda Untuk Persamaan Densitas Fluida Dan Uji Tak Merusak Pipa*.
- Boas, dan Marry. 1983. *Mathematical Methods In The Physical Sciences*. USA: John Willey & Sons.
- Chandler, D. 1987. *Introduction to Modern Statistical*. Oxford UK: Oxford University Press.
- Danielsson, E. 2000. *FEMLAB Model Library for Semiconductor Device Model*. Stockholm: The Royal Institute of Institute.
- Giancoli, D. C. 2001. *Fisika Jilid 1*. 5 Ed. Jakarta: Erlangga.
- Gunarta, L. 2011. *Photodiode dan Infrared*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.
- Hamady, M., E. Kamrani, dan M. Sawan. 2012. Modeling CMOS PIN Photodiode Using Comsol, *Proceedings of 2012 24th International Conference on Microelectronics (ICM)*. IEEE: 1-4.
- Holonyak Jr, N., dan S. F. Bevacqua. 1962. Coherent (visible) Light Emission from Ga (As_{1-x}P_x) Junctions. *Applied Physics Letters* 1 (4): 82-83.
- Hwang, C. J. 1970. Properties of Spontaneous and Stimulated Emission in GaAs Junction Lasers. I. Densities of States in The Active Regions. *Physical Review B* 2 (10): 4117.

- Jones, E. R., dan R. L. Childers. 1994. *Contemporary Collage Physics*. 2 Ed. New York: Addison Wesley Longman.
- Katriana, L., D. Darmawan, dan A. A. Noer. 2015. Rancang Bangun Sistem Kontrol Box UV Sebagai Media StUV Sebagai Media Sterilisasi Menggunakan Sensor Fotodiode. *Journal Sains Dasar* 4 (1): 71-76.
- Keiser. 1992. *Optical Fiber Communication*. New York: Mc Graw-Hill.
- Kittel, C. 1976. *Introduction to Solid State Physics*. New York: John Wiley & Sons.
- Malvino, A. P. 2003. *Prinsip-Prinsip Elektronika*. 1 Ed. Jakarta: Salemba Teknika.
- Millman, J., C. C. Halkias, dan E. B. Valls. 1979. *Elektronik: Dasar-Dasar dan Aplikasi*. Barcelona: Hispano Europea.
- Muchiar, M. 2007. Pembuatan Model Laser Nd-YAG Gelombang Kontinyu Daya Rendah. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya* 3 (2): 070211| 1-5.
- Munthe, C. A. 2011. Rancang Bangun Alat Ukur Densitas dan Dosis Radiasi Sinar-X pada Film Badge dengan Menggunakan Sensor Cahaya CI-6504A Berbasis Labview. Depok: Universitas Indonesia.
- Pandiangan, J. 2007. Perancangan Dan Penggunaan Photodiode Sebagai Sensor Penghindar Dinding Pada Robot Forklift. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Parno. 2006. *Fisika Zat Padat*. Malang: Universitas Malang (UM).
- Paschotta, R. 2020. *RP Photonic Encyclopedia: Responsivity*. <https://www.rp-photonics.com/responsivity.html>. [Diakses pada: 10 Mei 2020].
- Pilkuhn, M., dan H. Rupperecht. 1966. Spontaneous and Stimulated Emission from GaAs Diodes with Three-Layer Structures. *Journal of Applied Physics* 37 (9): 3621-3628.
- Robert, L. 1963. *Modern Physics*. New York: John Willey & Sons.
- Sari, V. 2017. *Modul Elektronika : Dioda Semikonduktor*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

- Schroder, D. K. 1990. *Semiconductor Material and Device Characterization*. Singapore: John Wiley & Sons. Inc.
- Shiraz, G. H. 1996. *Fundamentals of Laser Diode Amplifiers*. UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Slimane, H.B., B. Dennai., dan A. Helmaoui. 2013. Numerical Simulation of Graded Band Gap GaAs/ AlGaAs Heterojunction Solar Cell By AMPS-ID. *Advanches in physics Theories and Applications*.22.
- Subekti, A. 2003. *Diktat Kuliah Semikonduktor*. Jember: FMIPA UNEJ.
- Suematsu, Y., K. Iga, dan W. A. Gambling. 1982. *Introduction to Optical Fiber Communications*. New York: John Wiley & Sons Ltd.
- Sunarno, H. 2001. Sistem Komunikasi Optik. Laporan Modul Ajar. Surabaya: FMIPA ITS.
- Sutrisno. 1986. *Elektronika Teori Dasar dan Penerapannya Jilid I*. Bandung: ITB.
- Sze, S. M. 1985. *Semiconductor Devices*. New York: John Wiley & Sons.
- Takahashi, K., dan M. Konagi. 1986. *Amorphous Silicon Solar Cells*. London: North Oxford Academic Pub. Ltd.
- Theraja, B. L. 1982. *Basic Electronics*. New Delhi: S. Chand & Company, Ltd.
- Tipler, P. A. 1998. *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Zemansky, M. W., dan F. W. Sears. 2003. *Fisika Universitas Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data daya emisi spontan terhadap energi foton terhambur saat tebal devais 0,5 μm dan lebar 5 μm

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/\text{m}^3 \cdot \text{s}$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/\text{m}^3 \cdot \text{s}$)
1	0.712552833	0	35	0.924192297	0
2	0.718777523	0	36	0.930416987	0
3	0.725002214	0	37	0.936641677	0
4	0.731226904	0	38	0.942866367	0
5	0.737451594	0	39	0.949091057	0
6	0.743676284	0	40	0.955315747	0
7	0.749900974	0	41	0.961540437	0
8	0.756125664	0	42	0.967765127	0
9	0.762350354	0	43	0.973989818	0
10	0.768575044	0	44	0.980214508	0
11	0.774799734	0	45	0.986439198	0
12	0.781024424	0	46	0.992663888	0
13	0.787249115	0	47	0.998888578	0
14	0.793473805	0	48	1.005113268	0
15	0.799698495	0	49	1.011337958	0
16	0.805923185	0	50	1.017562648	0
17	0.812147875	0	51	1.023787338	0
18	0.818372565	0	52	1.030012029	0
19	0.824597255	0	53	1.036236719	0
20	0.830821945	0	54	1.042461409	0
21	0.837046635	0	55	1.048686099	0
22	0.843271325	0	56	1.054910789	0
23	0.849496016	0	57	1.061135479	0
24	0.855720706	0	58	1.067360169	0
25	0.861945396	0	59	1.073584859	0
26	0.868170086	0	60	1.079809549	0
27	0.874394776	0	61	1.086034239	0
28	0.880619466	0	62	1.09225893	0
29	0.886844156	0	63	1.09848362	0
30	0.893068846	0	64	1.10470831	0
31	0.899293536	0	65	1.110933	0
32	0.905518226	0	66	1.11715769	0
33	0.911742917	0	67	1.12338238	0
34	0.917967607	0	68	1.12960707	0
			69	1.13583176	0

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3 .s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3 .s$)
70	1.14205645	0	108	1.374911111	0
71	1.14828114	0	109	1.380140382	0
72	1.154505831	0	110	1.384389244	0
73	1.160730521	0	111	1.388638106	0
74	1.166955211	0	112	1.392886968	0
75	1.173179901	0	113	1.397135831	0
76	1.179404591	0	114	1.400175494	0
77	1.185629281	0	115	1.403215156	0
78	1.191853971	0	116	1.406254819	0
79	1.198078661	0	117	1.409294482	0
80	1.204303351	0	118	1.411465896	0
81	1.210528041	0	119	1.41363731	0
82	1.216752732	0	120	1.415808724	0
83	1.222977422	0	121	1.417980138	0
84	1.229202112	0	122	1.41976152	0
85	1.235426802	0	123	1.421542902	0
86	1.241651492	0	124	1.423324285	0
87	1.247876182	0	125	1.425105667	$6.47.10^{26}$
88	1.254100872	0	126	1.426887049	$1.10.10^{26}$
89	1.260325562	0	127	1.428668431	$1.45.10^{26}$
90	1.266550252	0	128	1.430449813	$1.74.10^{26}$
91	1.272774942	0	129	1.432231195	$1.98.10^{26}$
92	1.278999633	0	130	1.434364202	$2.20.10^{26}$
93	1.285224323	0	131	1.436497208	$2.35.10^{26}$
94	1.291449013	0	132	1.438630215	$2.44.10^{26}$
95	1.297673703	0	133	1.440763222	$2.47.10^{26}$
96	1.303898393	0	134	1.44369414	$2.44.10^{26}$
97	1.310123083	0	135	1.446625059	$2.35.10^{26}$
98	1.316347773	0	136	1.449555977	$2.23.10^{26}$
99	1.322572463	0	137	1.452486896	$2.11.10^{26}$
100	1.328797153	0	138	1.456235953	$1.94.10^{26}$
101	1.335021843	0	139	1.45998501	$1.77.10^{26}$
102	1.341072207	0	140	1.463734067	$1.61.10^{26}$
103	1.347122571	0	141	1.467483124	$1.46.10^{26}$
104	1.353172934	0	142	1.471465938	$1.31.10^{26}$
105	1.359223298	0	143	1.475448753	$1.17.10^{26}$
106	1.364452569	0	144	1.479431567	$1.04.10^{26}$
107	1.36968184	0	145	1.483414382	$9.24.10^{25}$

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3 \cdot s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3 \cdot s$)
184	1.641913549	$3.84 \cdot 10^{23}$	221	1.792284555	$1.44 \cdot 10^{21}$
185	1.645977631	$3.31 \cdot 10^{23}$	222	1.796348636	$1.24 \cdot 10^{21}$
186	1.650041712	$2.85 \cdot 10^{23}$	223	1.800412717	$1.06 \cdot 10^{21}$
187	1.654105793	$2.46 \cdot 10^{23}$	224	1.804476798	$9.13 \cdot 10^{20}$
188	1.658169874	$2.12 \cdot 10^{23}$	225	1.80854088	$7.83 \cdot 10^{20}$
189	1.662233956	$1.82 \cdot 10^{23}$	226	1.812604961	$6.72 \cdot 10^{20}$
190	1.666298037	$1.57 \cdot 10^{23}$	227	1.816669042	$5.77 \cdot 10^{20}$
191	1.670362118	$1.35 \cdot 10^{23}$	228	1.820733123	$4.95 \cdot 10^{20}$
192	1.674426199	$1.16 \cdot 10^{23}$	229	1.824797205	$4.25 \cdot 10^{20}$
193	1.67849028	$1.00 \cdot 10^{23}$	230	1.828861286	$3.64 \cdot 10^{20}$
194	1.682554362	$8.63 \cdot 10^{22}$	231	1.832925367	$3.12 \cdot 10^{20}$
195	1.686618443	$7.43 \cdot 10^{22}$	232	1.836989448	$2.68 \cdot 10^{20}$
196	1.690682524	$6.39 \cdot 10^{22}$	233	1.84105353	$2.30 \cdot 10^{20}$
197	1.694746605	$5.50 \cdot 10^{22}$	234	1.845117611	$1.97 \cdot 10^{20}$
198	1.698810687	$4.73 \cdot 10^{22}$	235	1.849181692	$1.69 \cdot 10^{20}$
199	1.702874768	$4.07 \cdot 10^{22}$	236	1.853245773	$1.45 \cdot 10^{20}$
200	1.706938849	$3.50 \cdot 10^{22}$	237	1.857309854	$1.24 \cdot 10^{20}$
201	1.71100293	$3.01 \cdot 10^{22}$	238	1.861373936	$1.07 \cdot 10^{20}$
202	1.715067012	$2.59 \cdot 10^{22}$	239	1.865438017	$9.14 \cdot 10^{19}$
203	1.719131093	$2.23 \cdot 10^{22}$	240	1.869502098	$7.84 \cdot 10^{19}$
204	1.723195174	$1.91 \cdot 10^{22}$	241	1.873566179	$6.72 \cdot 10^{19}$
205	1.727259255	$1.64 \cdot 10^{22}$	242	1.877630261	$5.76 \cdot 10^{19}$
206	1.731323336	$1.41 \cdot 10^{22}$	243	1.881694342	$4.94 \cdot 10^{19}$
207	1.735387418	$1.22 \cdot 10^{22}$	244	1.885758423	$4.23 \cdot 10^{19}$
208	1.739451499	$1.04 \cdot 10^{22}$	245	1.889822504	$3.63 \cdot 10^{19}$
209	1.74351558	$8.97 \cdot 10^{21}$	246	1.893886585	$3.11 \cdot 10^{19}$
210	1.747579661	$7.71 \cdot 10^{21}$	247	1.897950667	$2.67 \cdot 10^{19}$
211	1.751643743	$6.62 \cdot 10^{21}$	248	1.902014748	$2.29 \cdot 10^{19}$
212	1.755707824	$5.69 \cdot 10^{21}$	249	1.906078829	$1.96 \cdot 10^{19}$
213	1.759771905	$4.89 \cdot 10^{21}$	250	1.910928653	$1.63 \cdot 10^{19}$
214	1.763835986	$4.20 \cdot 10^{21}$	251	1.915778477	$1.35 \cdot 10^{19}$
215	1.767900067	$3.60 \cdot 10^{21}$	252	1.920628301	$1.13 \cdot 10^{19}$
216	1.771964149	$3.10 \cdot 10^{21}$	253	1.925478124	$9.37 \cdot 10^{18}$
217	1.77602823	$2.66 \cdot 10^{21}$	254	1.932420117	$7.20 \cdot 10^{18}$
218	1.780092311	$2.28 \cdot 10^{21}$	255	1.939362109	$5.53 \cdot 10^{18}$
219	1.784156392	$1.96 \cdot 10^{21}$	256	1.946304101	$4.24 \cdot 10^{18}$
220	1.788220474	$1.68 \cdot 10^{21}$	257	1.953246093	$3.26 \cdot 10^{18}$
			258	1.963182795	$2.23 \cdot 10^{18}$

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/m^3.s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/m^3.s$)
259	1.973119497	$1.53.10^{18}$	297	2.721025084	453386.1
260	1.9830562	$1.05.10^{18}$	298	2.742612472	196052.4
261	1.992992902	$7.16.10^{17}$	299	2.764199859	84759.83
262	2.006841982	$4.22.10^{17}$	300	2.785787247	36637.33
263	2.020691061	$2.49.10^{17}$	301	2.807374635	15833.46
264	2.034540141	$1.46.10^{17}$	302	2.828962022	6841.453
265	2.048389221	$8.62.10^{16}$	303	2.85054941	2955.585
266	2.065798576	$4.43.10^{16}$	304	2.872136798	1276.624
267	2.083207932	$2.27.10^{16}$	305	2.893724186	551.3270
268	2.100617287	$1.17.10^{16}$	306	2.915311573	238.0585
269	2.118026642	$5.98.10^{15}$	307	2.936898961	102.7751
270	2.139251926	$2.65.10^{15}$	308	2.958486349	44.36337
271	2.16047721	$1.17.10^{15}$	309	2.980073737	19.14671
272	2.181702494	$5.18.10^{14}$	310	3.001661124	8.262262
273	2.202927778	$2.29.10^{14}$	311	3.023248512	3.564840
274	2.224515166	$9.97.10^{13}$	312	3.0448359	1.537868
275	2.246102554	$4.34.10^{13}$	313	3.066423287	0.663342
276	2.267689942	$1.89.10^{13}$	314	3.088010675	0.286085
277	2.289277329	$8.23.10^{12}$	315	3.109598063	0.123366
278	2.310864717	$3.58.10^{12}$	316	3.131185451	0.053191
279	2.332452105	$1.56.10^{12}$	317	3.152772838	0.022931
280	2.354039493	$6.76.10^{11}$	318	3.174360226	0.009884
281	2.37562688	$2.94.10^{11}$	319	3.195947614	0.004260
282	2.397214268	$1.27.10^{11}$	320	3.217535001	0.001836
283	2.418801656	$5.53.10^{10}$	321	3.239122389	$7.91.10^{-4}$
284	2.440389043	$2.40.10^{10}$	322	3.260709777	$3.41.10^{-4}$
285	2.461976431	$1.04.10^{10}$	323	3.282297165	$1.47.10^{-4}$
286	2.483563819	$4.52.10^9$	324	3.303884552	$6.33.10^{-5}$
287	2.505151207	$1.96.10^9$	325	3.32547194	$2.72.10^{-5}$
288	2.526738594	$8.49.10^8$	326	3.347059328	$1.17.10^{-5}$
289	2.548325982	$3.68.10^8$	327	3.368646716	$5.05.10^{-6}$
290	2.56991337	$1.59.10^8$	328	3.390234103	$2.18.10^{-6}$
291	2.591500757	$6.90.10^7$	329	3.411821491	$9.37.10^{-7}$
292	2.613088145	$2.99.10^7$	330	3.433408879	$4.03.10^{-7}$
293	2.634675533	$1.29.10^7$	331	3.454996266	$1.74.10^{-7}$
294	2.656262921	5600305.9	332	3.476583654	$7.47.10^{-8}$
295	2.677850308	2423207.5			
296	2.699437696	1048274.9			

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/m^3 \cdot s$)
332	3.476583654	$7.47 \cdot 10^{-8}$
333	3.498171042	$3.21 \cdot 10^{-8}$
334	3.51975843	$1.38 \cdot 10^{-8}$
335	3.541345817	$5.95 \cdot 10^{-9}$
336	3.562933205	$2.56 \cdot 10^{-9}$
337	3.584520593	$1.10 \cdot 10^{-9}$
338	3.60610798	$4.74 \cdot 10^{-10}$
339	3.627695368	$2.04 \cdot 10^{-10}$
340	3.649282756	$8.77 \cdot 10^{-11}$
341	3.670870144	$3.77 \cdot 10^{-11}$
342	3.692457531	$1.62 \cdot 10^{-11}$
343	3.714044919	$6.97 \cdot 10^{-12}$
344	3.735632307	$3.00 \cdot 10^{-12}$
345	3.757219695	$1.29 \cdot 10^{-12}$
346	3.778807082	$5.54 \cdot 10^{-13}$
347	3.80039447	$2.38 \cdot 10^{-13}$
348	3.821981858	$1.02 \cdot 10^{-13}$
349	3.843569245	$4.40 \cdot 10^{-14}$
350	3.865156633	$1.89 \cdot 10^{-14}$
351	3.886744021	$8.13 \cdot 10^{-15}$
352	3.908331409	$3.49 \cdot 10^{-15}$
353	3.929918796	$1.50 \cdot 10^{-15}$
354	3.951506184	$6.45 \cdot 10^{-16}$
355	3.973093572	$2.77 \cdot 10^{-16}$
356	3.99468096	$1.19 \cdot 10^{-16}$
357	4.016268347	$5.11 \cdot 10^{-17}$
358	4.037855735	$2.20 \cdot 10^{-17}$
359	4.059443123	$9.43 \cdot 10^{-18}$
360	4.08103051	$4.05 \cdot 10^{-18}$
361	4.102617898	$1.74 \cdot 10^{-18}$
362	4.124205286	$7.47 \cdot 10^{-19}$
363	4.145792674	$3.21 \cdot 10^{-19}$
364	4.167380061	$1.38 \cdot 10^{-19}$
365	4.188967449	$5.91 \cdot 10^{-20}$
366	4.210554837	$2.54 \cdot 10^{-20}$
367	4.232142224	$1.09 \cdot 10^{-20}$
368	4.253729612	$4.68 \cdot 10^{-21}$
369	4.275317	$2.01 \cdot 10^{-21}$

Lampiran 2. Data daya emisi spontan terhadap energi foton terhambur saat tebal devais 0,75 μm dan lebar 5 μm

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/\text{m}^3 \cdot \text{s}$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/\text{m}^3 \cdot \text{s}$)
1	0.712552833	0	35	0.924192297	0
2	0.718777523	0	36	0.930416987	0
3	0.725002214	0	37	0.936641677	0
4	0.731226904	0	38	0.942866367	0
5	0.737451594	0	39	0.949091057	0
6	0.743676284	0	40	0.955315747	0
7	0.749900974	0	41	0.961540437	0
8	0.756125664	0	42	0.967765127	0
9	0.762350354	0	43	0.973989818	0
10	0.768575044	0	44	0.980214508	0
11	0.774799734	0	45	0.986439198	0
12	0.781024424	0	46	0.992663888	0
13	0.787249115	0	47	0.998888578	0
14	0.793473805	0	48	1.005113268	0
15	0.799698495	0	49	1.011337958	0
16	0.805923185	0	50	1.017562648	0
17	0.812147875	0	51	1.023787338	0
18	0.818372565	0	52	1.030012029	0
19	0.824597255	0	53	1.036236719	0
20	0.830821945	0	54	1.042461409	0
21	0.837046635	0	55	1.048686099	0
22	0.843271325	0	56	1.054910789	0
23	0.849496016	0	57	1.061135479	0
24	0.855720706	0	58	1.067360169	0
25	0.861945396	0	59	1.073584859	0
26	0.868170086	0	60	1.079809549	0
27	0.874394776	0	61	1.086034239	0
28	0.880619466	0	62	1.09225893	0
29	0.886844156	0	63	1.09848362	0
30	0.893068846	0	64	1.10470831	0
31	0.899293536	0	65	1.110933	0
32	0.905518226	0	66	1.11715769	0
33	0.911742917	0	67	1.12338238	0
34	0.917967607	0	68	1.12960707	0
			69	1.13583176	0

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ \text{m}^3 \cdot \text{s}$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ \text{m}^3 \cdot \text{s}$)
70	1.14205645	0	107	1.36968184	0
71	1.14828114	0	108	1.374911111	0
72	1.154505831	0	109	1.380140382	0
73	1.160730521	0	110	1.384389244	0
74	1.166955211	0	111	1.388638106	0
75	1.173179901	0	112	1.392886968	0
76	1.179404591	0	113	1.397135831	0
77	1.185629281	0	114	1.400175494	0
78	1.191853971	0	115	1.403215156	0
79	1.198078661	0	116	1.406254819	0
80	1.204303351	0	117	1.409294482	0
81	1.210528041	0	118	1.411465896	0
82	1.216752732	0	119	1.41363731	0
83	1.222977422	0	120	1.415808724	0
84	1.229202112	0	121	1.417980138	0
85	1.235426802	0	122	1.41976152	0
86	1.241651492	0	123	1.421542902	0
87	1.247876182	0	124	1.423324285	0
88	1.254100872	0	125	1.425105667	$8.85 \cdot 10^{18}$
89	1.260325562	0	126	1.426887049	$1.50 \cdot 10^{18}$
90	1.266550252	0	127	1.428668431	$1.98 \cdot 10^{18}$
91	1.272774942	0	128	1.430449813	$2.37 \cdot 10^{18}$
92	1.278999633	0	129	1.432231195	$2.69 \cdot 10^{18}$
93	1.285224323	0	130	1.434364202	$2.99 \cdot 10^{18}$
94	1.291449013	0	131	1.436497208	$3.20 \cdot 10^{18}$
95	1.297673703	0	132	1.438630215	$3.32 \cdot 10^{18}$
96	1.303898393	0	133	1.440763222	$3.36 \cdot 10^{18}$
97	1.310123083	0	134	1.44369414	$3.32 \cdot 10^{18}$
98	1.316347773	0	135	1.446625059	$3.19 \cdot 10^{18}$
99	1.322572463	0	136	1.449555977	$3.02 \cdot 10^{18}$
100	1.328797153	0	137	1.452486896	$2.85 \cdot 10^{18}$
101	1.335021843	0	138	1.456235953	$2.62 \cdot 10^{18}$
102	1.341072207	0	139	1.45998501	$2.39 \cdot 10^{18}$
103	1.347122571	0	140	1.463734067	$2.17 \cdot 10^{18}$
104	1.353172934	0	141	1.467483124	$1.96 \cdot 10^{18}$
105	1.359223298	0	142	1.471465938	$1.76 \cdot 10^{18}$
106	1.364452569	0	143	1.475448753	$1.57 \cdot 10^{18}$

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/m^3 \cdot s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/m^3 \cdot s$)
144	1.479431567	$1.39 \cdot 10^{18}$	181	1.629721306	$7.71 \cdot 10^{15}$
145	1.483414382	$1.24 \cdot 10^{18}$	182	1.633785387	$6.64 \cdot 10^{15}$
146	1.487478463	$1.09 \cdot 10^{18}$	183	1.637849468	$5.73 \cdot 10^{15}$
147	1.491542544	$9.60 \cdot 10^{17}$	184	1.641913549	$4.93 \cdot 10^{15}$
148	1.495606625	$8.44 \cdot 10^{17}$	185	1.645977631	$4.25 \cdot 10^{15}$
149	1.499670707	$7.40 \cdot 10^{17}$	186	1.650041712	$3.66 \cdot 10^{15}$
150	1.503734788	$6.49 \cdot 10^{17}$	187	1.654105793	$3.15 \cdot 10^{15}$
151	1.507798869	$5.68 \cdot 10^{17}$	188	1.658169874	$2.71 \cdot 10^{15}$
152	1.51186295	$4.96 \cdot 10^{17}$	189	1.662233956	$2.34 \cdot 10^{15}$
153	1.515927031	$4.33 \cdot 10^{17}$	190	1.666298037	$2.01 \cdot 10^{15}$
154	1.519991113	$3.78 \cdot 10^{17}$	191	1.670362118	$1.73 \cdot 10^{15}$
155	1.524055194	$3.30 \cdot 10^{17}$	192	1.674426199	$1.49 \cdot 10^{15}$
156	1.528119275	$2.87 \cdot 10^{17}$	193	1.67849028	$1.28 \cdot 10^{15}$
157	1.532183356	$2.50 \cdot 10^{17}$	194	1.682554362	$1.10 \cdot 10^{15}$
158	1.536247438	$2.17 \cdot 10^{17}$	195	1.686618443	$9.48 \cdot 10^{14}$
159	1.540311519	$1.89 \cdot 10^{17}$	196	1.690682524	$8.15 \cdot 10^{14}$
160	1.5443756	$1.64 \cdot 10^{17}$	197	1.694746605	$7.01 \cdot 10^{14}$
161	1.548439681	$1.42 \cdot 10^{17}$	198	1.698810687	$6.03 \cdot 10^{14}$
162	1.552503762	$1.23 \cdot 10^{17}$	199	1.702874768	$5.18 \cdot 10^{14}$
163	1.556567844	$1.07 \cdot 10^{17}$	200	1.706938849	$4.45 \cdot 10^{14}$
164	1.560631925	$9.27 \cdot 10^{16}$	201	1.71100293	$3.83 \cdot 10^{14}$
165	1.564696006	$8.03 \cdot 10^{16}$	202	1.715067012	$3.29 \cdot 10^{14}$
166	1.568760087	$6.95 \cdot 10^{16}$	203	1.719131093	$2.83 \cdot 10^{14}$
167	1.572824169	$6.02 \cdot 10^{16}$	204	1.723195174	$2.43 \cdot 10^{14}$
168	1.57688825	$5.21 \cdot 10^{16}$	205	1.727259255	$2.09 \cdot 10^{14}$
169	1.580952331	$4.50 \cdot 10^{16}$	206	1.731323336	$1.79 \cdot 10^{14}$
170	1.585016412	$3.89 \cdot 10^{16}$	207	1.735387418	$1.54 \cdot 10^{14}$
171	1.589080494	$3.36 \cdot 10^{16}$	208	1.739451499	$1.32 \cdot 10^{14}$
172	1.593144575	$2.91 \cdot 10^{16}$	209	1.74351558	$1.14 \cdot 10^{14}$
173	1.597208656	$2.51 \cdot 10^{16}$	210	1.747579661	$9.76 \cdot 10^{13}$
174	1.601272737	$2.17 \cdot 10^{16}$	211	1.751643743	$8.38 \cdot 10^{13}$
175	1.605336818	$1.87 \cdot 10^{16}$	212	1.755707824	$7.20 \cdot 10^{13}$
176	1.6094009	$1.62 \cdot 10^{16}$	213	1.759771905	$6.18 \cdot 10^{13}$
177	1.613464981	$1.39 \cdot 10^{16}$	214	1.763835986	$5.30 \cdot 10^{13}$
178	1.617529062	$1.20 \cdot 10^{16}$	215	1.767900067	$4.55 \cdot 10^{13}$
179	1.621593143	$1.04 \cdot 10^{16}$	216	1.771964149	$3.91 \cdot 10^{13}$
180	1.625657225	$8.94 \cdot 10^{15}$	217	1.77602823	$3.35 \cdot 10^{13}$

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3.s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3.s$)
218	1.780092311	$2.88.10^{13}$	255	1.939362109	$6.90.10^{10}$
219	1.784156392	$2.47.10^{13}$	256	1.946304101	$5.29.10^{10}$
220	1.788220474	$2.12.10^{13}$	257	1.953246093	$4.06.10^{10}$
221	1.792284555	$1.82.10^{13}$	258	1.963182795	$2.78.10^{10}$
222	1.796348636	$1.56.10^{13}$	259	1.973119497	$1.90.10^{10}$
223	1.800412717	$1.34.10^{13}$	260	1.9830562	$1.30.10^{10}$
224	1.804476798	$1.15.10^{13}$	261	1.992992902	$8.91.10^9$
225	1.80854088	$9.86.10^{12}$	262	2.006841982	$5.25.10^9$
226	1.812604961	$8.46.10^{12}$	263	2.020691061	$3.09.10^9$
227	1.816669042	$7.25.10^{12}$	264	2.034540141	$1.82.10^9$
228	1.820733123	$6.22.10^{12}$	265	2.048389221	$1.07.10^9$
229	1.824797205	$5.34.10^{12}$	266	2.065798576	$5.50.10^8$
230	1.828861286	$4.58.10^{12}$	267	2.083207932	$2.82.10^8$
231	1.832925367	$3.92.10^{12}$	268	2.100617287	$1.45.10^8$
232	1.836989448	$3.36.10^{12}$	269	2.118026642	$7.41.10^7$
233	1.84105353	$2.89.10^{12}$	270	2.139251926	$3.28.10^7$
234	1.845117611	$2.47.10^{12}$	271	2.16047721	$1.45.10^7$
235	1.849181692	$2.12.10^{12}$	272	2.181702494	6415057.584
236	1.853245773	$1.82.10^{12}$	273	2.202927778	2834676.182
237	1.857309854	$1.56.10^{12}$	274	2.224515166	1234663.423
238	1.861373936	$1.34.10^{12}$	275	2.246102554	537520.1505
239	1.865438017	$1.15.10^{12}$	276	2.267689942	233911.2243
240	1.869502098	$9.82.10^{11}$	277	2.289277329	101747.9737
241	1.873566179	$8.42.10^{11}$	278	2.310864717	44241.17441
242	1.877630261	$7.21.10^{11}$	279	2.332452105	19229.1886
243	1.881694342	$6.18.10^{11}$	280	2.354039493	8354.786773
244	1.885758423	$5.30.10^{11}$	281	2.37562688	3628.744393
245	1.889822504	$4.54.10^{11}$	282	2.397214268	1575.540983
246	1.893886585	$3.89.10^{11}$	283	2.418801656	683.8497675
247	1.897950667	$3.33.10^{11}$	284	2.440389043	296.7255509
248	1.902014748	$2.86.10^{11}$	285	2.461976431	128.7115676
249	1.906078829	$2.45.10^{11}$	286	2.483563819	55.81521658
250	1.910928653	$2.04.10^{11}$	287	2.505151207	24.19716599
251	1.915778477	$1.69.10^{11}$	288	2.526738594	10.48716007
252	1.920628301	$1.41.10^{11}$	289	2.548325982	4.543976892
253	1.925478124	$1.17.10^{11}$	290	2.56991337	1.968353258
254	1.932420117	$8.98.10^{10}$	291	2.591500757	0.852437577

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/m^3.s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/m^3.s$)
292	2.613088145	0.369077189	329	3.411821491	$1.16 \cdot 10^{-14}$
293	2.634675533	0.159760996	330	3.433408879	$4.98 \cdot 10^{-15}$
294	2.656262921	0.069139561	331	3.454996266	$2.14 \cdot 10^{-15}$
295	2.677850308	0.029914852	332	3.476583654	$9.22 \cdot 10^{-16}$
296	2.699437696	0.012940583	333	3.498171042	$3.97 \cdot 10^{-16}$
297	2.721025084	0.00559669	334	3.51975843	$1.71 \cdot 10^{-16}$
298	2.742612472	0.002420034	335	3.541345817	$7.34 \cdot 10^{-17}$
299	2.764199859	0.001046228	336	3.562933205	$3.16 \cdot 10^{-17}$
300	2.785787247	$4.52 \cdot 10^{-4}$	337	3.584520593	$1.36 \cdot 10^{-17}$
301	2.807374635	$1.95 \cdot 10^{-4}$	338	3.60610798	$5.85 \cdot 10^{-18}$
302	2.828962022	$8.44 \cdot 10^{-5}$	339	3.627695368	$2.52 \cdot 10^{-18}$
303	2.85054941	$3.65 \cdot 10^{-5}$	340	3.649282756	$1.08 \cdot 10^{-18}$
304	2.872136798	$1.58 \cdot 10^{-5}$	341	3.670870144	$4.65 \cdot 10^{-19}$
305	2.893724186	$6.80 \cdot 10^{-6}$	342	3.692457531	$2.00 \cdot 10^{-19}$
306	2.915311573	$2.94 \cdot 10^{-6}$	343	3.714044919	$8.60 \cdot 10^{-20}$
307	2.936898961	$1.27 \cdot 10^{-6}$	344	3.735632307	$3.70 \cdot 10^{-20}$
308	2.958486349	$5.48 \cdot 10^{-7}$	345	3.757219695	$1.59 \cdot 10^{-20}$
309	2.980073737	$2.36 \cdot 10^{-7}$	346	3.778807082	$6.84 \cdot 10^{-21}$
310	3.001661124	$1.02 \cdot 10^{-7}$	347	3.80039447	$2.94 \cdot 10^{-21}$
311	3.023248512	$4.40 \cdot 10^{-8}$	348	3.821981858	$1.26 \cdot 10^{-21}$
312	3.0448359	$1.90 \cdot 10^{-8}$	349	3.843569245	$5.43 \cdot 10^{-22}$
313	3.066423287	$8.19 \cdot 10^{-9}$	350	3.865156633	$2.33 \cdot 10^{-22}$
314	3.088010675	$3.53 \cdot 10^{-9}$	351	3.886744021	$1.00 \cdot 10^{-22}$
315	3.109598063	$1.52 \cdot 10^{-9}$	352	3.908331409	$4.31 \cdot 10^{-23}$
316	3.131185451	$6.56 \cdot 10^{-10}$	353	3.929918796	$1.85 \cdot 10^{-23}$
317	3.152772838	$2.83 \cdot 10^{-10}$	354	3.951506184	$7.96 \cdot 10^{-24}$
318	3.174360226	$1.22 \cdot 10^{-10}$	355	3.973093572	$3.42 \cdot 10^{-24}$
319	3.195947614	$5.26 \cdot 10^{-11}$	356	3.99468096	$1.47 \cdot 10^{-24}$
320	3.217535001	$2.27 \cdot 10^{-11}$	357	4.016268347	$6.31 \cdot 10^{-25}$
321	3.239122389	$9.76 \cdot 10^{-12}$	358	4.037855735	$2.71 \cdot 10^{-25}$
322	3.260709777	$4.21 \cdot 10^{-12}$	359	4.059443123	$1.16 \cdot 10^{-25}$
323	3.282297165	$1.81 \cdot 10^{-12}$	360	4.08103051	$5.00 \cdot 10^{-26}$
324	3.303884552	$7.81 \cdot 10^{-13}$	361	4.102617898	$2.15 \cdot 10^{-26}$
325	3.32547194	$3.36 \cdot 10^{-13}$	362	4.124205286	$9.21 \cdot 10^{-27}$
326	3.347059328	$1.45 \cdot 10^{-13}$	363	4.145792674	$3.96 \cdot 10^{-27}$
327	3.368646716	$6.23 \cdot 10^{-14}$	364	4.167380061	$1.70 \cdot 10^{-27}$
328	3.390234103	$2.68 \cdot 10^{-14}$	365	4.188967449	$7.29 \cdot 10^{-28}$

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/\text{m}^3 \cdot \text{s}$)
366	4.210554837	$3.13 \cdot 10^{-28}$
367	4.232142224	$1.35 \cdot 10^{-28}$
368	4.253729612	$5.78 \cdot 10^{-29}$
369	4.275317	$2.48 \cdot 10^{-29}$



Lampiran 3. Data daya emisi spontan terhadap energi foton terhambur saat tebal devais 1 μm dan lebar 5 μm

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/\text{m}^3.\text{s}$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/\text{m}^3.\text{s}$)
1	0.712552833	0	37	0.936641677	0
2	0.718777523	0	38	0.942866367	0
3	0.725002214	0	39	0.949091057	0
4	0.731226904	0	40	0.955315747	0
5	0.737451594	0	41	0.961540437	0
6	0.743676284	0	42	0.967765127	0
7	0.749900974	0	43	0.973989818	0
8	0.756125664	0	44	0.980214508	0
9	0.762350354	0	45	0.986439198	0
10	0.768575044	0	46	0.992663888	0
11	0.774799734	0	47	0.998888578	0
12	0.781024424	0	48	1.005113268	0
13	0.787249115	0	49	1.011337958	0
14	0.793473805	0	50	1.017562648	0
15	0.799698495	0	51	1.023787338	0
16	0.805923185	0	52	1.030012029	0
17	0.812147875	0	53	1.036236719	0
18	0.818372565	0	54	1.042461409	0
19	0.824597255	0	55	1.048686099	0
20	0.830821945	0	56	1.054910789	0
21	0.837046635	0	57	1.061135479	0
22	0.843271325	0	58	1.067360169	0
23	0.849496016	0	59	1.073584859	0
24	0.855720706	0	60	1.079809549	0
25	0.861945396	0	61	1.086034239	0
26	0.868170086	0	62	1.09225893	0
27	0.874394776	0	63	1.09848362	0
28	0.880619466	0	64	1.10470831	0
29	0.886844156	0	65	1.110933	0
30	0.893068846	0	66	1.11715769	0
31	0.899293536	0	67	1.12338238	0
32	0.905518226	0	68	1.12960707	0
33	0.911742917	0	69	1.13583176	0
34	0.917967607	0	70	1.14205645	0
35	0.924192297	0	71	1.14828114	0
36	0.930416987	0	72	1.154505831	0
			73	1.160730521	0
			74	1.166955211	0

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/m^3.s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/m^3.s$)
75	1.173179901	0	111	1.388638106	0
76	1.179404591	0	112	1.392886968	0
77	1.185629281	0	113	1.397135831	0
78	1.191853971	0	114	1.400175494	0
79	1.198078661	0	115	1.403215156	0
80	1.204303351	0	116	1.406254819	0
81	1.210528041	0	117	1.409294482	0
82	1.216752732	0	118	1.411465896	0
83	1.222977422	0	119	1.41363731	0
84	1.229202112	0	120	1.415808724	0
85	1.235426802	0	121	1.417980138	0
86	1.241651492	0	122	1.41976152	0
87	1.247876182	0	123	1.421542902	0
88	1.254100872	0	124	1.423324285	0
89	1.260325562	0	125	1.425105667	$1.38 \cdot 10^{18}$
90	1.266550252	0	126	1.426887049	$2.34 \cdot 10^{18}$
91	1.272774942	0	127	1.428668431	$3.08 \cdot 10^{18}$
92	1.278999633	0	128	1.430449813	$3.69 \cdot 10^{18}$
93	1.285224323	0	129	1.432231195	$4.19 \cdot 10^{18}$
94	1.291449013	0	130	1.434364202	$4.65 \cdot 10^{18}$
95	1.297673703	0	131	1.436497208	$4.98 \cdot 10^{18}$
96	1.303898393	0	132	1.438630215	$5.16 \cdot 10^{18}$
97	1.310123083	0	133	1.440763222	$5.23 \cdot 10^{18}$
98	1.316347773	0	134	1.44369414	$5.16 \cdot 10^{18}$
99	1.322572463	0	135	1.446625059	$4.96 \cdot 10^{18}$
100	1.328797153	0	136	1.449555977	$4.71 \cdot 10^{18}$
101	1.335021843	0	137	1.452486896	$4.43 \cdot 10^{18}$
102	1.341072207	0	138	1.456235953	$4.08 \cdot 10^{18}$
103	1.347122571	0	139	1.45998501	$3.72 \cdot 10^{18}$
104	1.353172934	0	140	1.463734067	$3.38 \cdot 10^{18}$
105	1.359223298	0	141	1.467483124	$3.06 \cdot 10^{18}$
106	1.364452569	0	142	1.471465938	$2.73 \cdot 10^{18}$
107	1.36968184	0	143	1.475448753	$2.44 \cdot 10^{18}$
108	1.374911111	0	144	1.479431567	$2.17 \cdot 10^{18}$
109	1.380140382	0	145	1.483414382	$1.92 \cdot 10^{18}$
110	1.384389244	0	146	1.487478463	$1.70 \cdot 10^{18}$
			147	1.491542544	$1.49 \cdot 10^{18}$

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/m^3.s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/m^3.s$)
148	1.495606625	$1.31.10^{18}$	188	1.658169874	$4.22.10^{15}$
149	1.499670707	$1.15.10^{18}$	189	1.662233956	$3.63.10^{15}$
150	1.503734788	$1.01.10^{18}$	190	1.666298037	$3.13.10^{15}$
151	1.507798869	$8.84.10^{17}$	191	1.670362118	$2.69.10^{15}$
152	1.51186295	$7.72.10^{17}$	192	1.674426199	$2.32.10^{15}$
153	1.515927031	$6.74.10^{17}$	193	1.67849028	$1.99.10^{15}$
154	1.519991113	$5.88.10^{17}$	194	1.682554362	$1.71.10^{15}$
155	1.524055194	$5.13.10^{17}$	195	1.686618443	$1.47.10^{15}$
156	1.528119275	$4.47.10^{17}$	196	1.690682524	$1.27.10^{15}$
157	1.532183356	$3.89.10^{17}$	197	1.694746605	$1.09.10^{15}$
158	1.536247438	$3.38.10^{17}$	198	1.698810687	$9.38.10^{14}$
159	1.540311519	$2.94.10^{17}$	199	1.702874768	$8.06.10^{14}$
160	1.5443756	$2.55.10^{17}$	200	1.706938849	$6.93.10^{14}$
161	1.548439681	$2.21.10^{17}$	201	1.71100293	$5.96.10^{14}$
162	1.552503762	$1.92.10^{17}$	202	1.715067012	$5.12.10^{14}$
163	1.556567844	$1.66.10^{17}$	203	1.719131093	$4.40.10^{14}$
164	1.560631925	$1.44.10^{17}$	204	1.723195174	$3.78.10^{14}$
165	1.564696006	$1.25.10^{17}$	205	1.727259255	$3.25.10^{14}$
166	1.568760087	$1.08.10^{17}$	206	1.731323336	$2.79.10^{14}$
167	1.572824169	$9.36.10^{16}$	207	1.735387418	$2.40.10^{14}$
168	1.57688825	$8.10.10^{16}$	208	1.739451499	$2.06.10^{14}$
169	1.580952331	$7.01.10^{16}$	209	1.74351558	$1.77.10^{14}$
170	1.585016412	$6.06.10^{16}$	210	1.747579661	$1.52.10^{14}$
171	1.589080494	$5.24.10^{16}$	211	1.751643743	$1.30.10^{14}$
172	1.593144575	$4.52.10^{16}$	212	1.755707824	$1.12.10^{14}$
173	1.597208656	$3.91.10^{16}$	213	1.759771905	$9.61.10^{13}$
174	1.601272737	$3.37.10^{16}$	214	1.763835986	$8.25.10^{13}$
175	1.605336818	$2.91.10^{16}$	215	1.767900067	$7.09.10^{13}$
176	1.6094009	$2.51.10^{16}$	216	1.771964149	$6.08.10^{13}$
177	1.613464981	$2.17.10^{16}$	217	1.77602823	$5.22.10^{13}$
178	1.617529062	$1.87.10^{16}$	218	1.780092311	$4.48.10^{13}$
179	1.621593143	$1.61.10^{16}$	219	1.784156392	$3.85.10^{13}$
180	1.625657225	$1.39.10^{16}$	220	1.788220474	$3.30.10^{13}$
181	1.629721306	$1.20.10^{16}$	221	1.792284555	$2.83.10^{13}$
182	1.633785387	$1.03.10^{16}$	222	1.796348636	$2.43.10^{13}$
183	1.637849468	$8.91.10^{15}$	223	1.800412717	$2.08.10^{13}$
184	1.641913549	$7.68.10^{15}$	224	1.804476798	$1.79.10^{13}$
185	1.645977631	$6.61.10^{15}$	225	1.80854088	$1.53.10^{13}$
186	1.650041712	$5.69.10^{15}$	226	1.812604961	$1.32.10^{13}$
187	1.654105793	$4.90.10^{15}$	227	1.816669042	$1.13.10^{13}$

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3.s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3.s$)
228	1.820733123	$9.68. 10^{12}$	268	2.100617287	$2.25. 10^8$
229	1.824797205	$8.30. 10^{12}$	269	2.118026642	$1.15. 10^8$
230	1.828861286	$7.12. 10^{12}$	270	2.139251926	$5.10. 10^7$
231	1.832925367	$6.11. 10^{12}$	271	2.16047721	$2.26. 10^7$
232	1.836989448	$5.24. 10^{12}$	272	2.181702494	9982244.803
233	1.84105353	$4.49. 10^{12}$	273	2.202927778	4410940.487
234	1.845117611	$3.85. 10^{12}$	274	2.224515166	1921216.263
235	1.849181692	$3.30. 10^{12}$	275	2.246102554	836416.1285
236	1.853245773	$2.83. 10^{12}$	276	2.267689942	363980.9666
237	1.857309854	$2.43. 10^{12}$	277	2.289277329	158326.4166
238	1.861373936	$2.08. 10^{12}$	278	2.310864717	68842.13982
239	1.865438017	$1.78. 10^{12}$	279	2.332452105	29921.86143
240	1.869502098	$1.53. 10^{12}$	280	2.354039493	13000.59258
241	1.873566179	$1.31. 10^{12}$	281	2.37562688	5646.561756
242	1.877630261	$1.12. 10^{12}$	282	2.397214268	2451.643604
243	1.881694342	$9.62. 10^{11}$	283	2.418801656	1064.114767
244	1.885758423	$8.24. 10^{11}$	284	2.440389043	461.7242806
245	1.889822504	$7.07. 10^{11}$	285	2.461976431	200.2835228
246	1.893886585	$6.05. 10^{11}$	286	2.483563819	86.85203285
247	1.897950667	$5.19. 10^{11}$	287	2.505151207	37.6523582
248	1.902014748	$4.45. 10^{11}$	288	2.526738594	16.31869103
249	1.906078829	$3.81. 10^{11}$	289	2.548325982	7.070716391
250	1.910928653	$3.17. 10^{11}$	290	2.56991337	3.062884929
251	1.915778477	$2.63. 10^{11}$	291	2.591500757	1.326446976
252	1.920628301	$2.19. 10^{11}$	292	2.613088145	0.574307977
253	1.925478124	$1.82. 10^{11}$	293	2.634675533	0.248598558
254	1.932420117	$1.40. 10^{11}$	294	2.656262921	0.107585509
255	1.939362109	$1.07. 10^{11}$	295	2.677850308	0.04654942
256	1.946304101	$8.24. 10^{11}$	296	2.699437696	0.020136382
257	1.953246093	$6.32. 10^{10}$	297	2.721025084	0.008708813
258	1.963182795	$4.33. 10^{10}$	298	2.742612472	0.003765728
259	1.973119497	$2.96. 10^{10}$	299	2.764199859	0.001627998
260	1.9830562	$2.03. 10^{10}$	300	2.785787247	$7.04. 10^{-4}$
261	1.992992902	$1.39. 10^{10}$	301	2.807374635	$3.04. 10^{-4}$
262	2.006841982	$8.17. 10^9$	302	2.828962022	$1.31. 10^{-4}$
263	2.020691061	$4.81. 10^9$	303	2.85054941	$5.68. 10^{-5}$
264	2.034540141	$2.83. 10^9$	304	2.872136798	$2.45. 10^{-5}$
265	2.048389221	$1.67. 10^9$	305	2.893724186	$1.06. 10^{-5}$
266	2.065798576	$8.55. 10^8$	306	2.915311573	$4.57. 10^{-6}$
267	2.083207932	$4.39. 10^8$	307	2.936898961	$1.97. 10^{-6}$

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3 \cdot s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3 \cdot s$)
308	2.958486349	$8.52 \cdot 10^{-7}$	348	3.821981858	$1.97 \cdot 10^{-21}$
309	2.980073737	$3.68 \cdot 10^{-7}$	349	3.843569245	$8.45 \cdot 10^{-22}$
310	3.001661124	$1.59 \cdot 10^{-7}$	350	3.865156633	$3.63 \cdot 10^{-22}$
311	3.023248512	$6.85 \cdot 10^{-8}$	351	3.886744021	$1.56 \cdot 10^{-22}$
312	3.0448359	$2.95 \cdot 10^{-8}$	352	3.908331409	$6.70 \cdot 10^{-23}$
313	3.066423287	$1.27 \cdot 10^{-8}$	353	3.929918796	$2.88 \cdot 10^{-23}$
314	3.088010675	$5.49 \cdot 10^{-9}$	354	3.951506184	$1.24 \cdot 10^{-23}$
315	3.109598063	$2.37 \cdot 10^{-9}$	355	3.973093572	$5.32 \cdot 10^{-24}$
316	3.131185451	$1.02 \cdot 10^{-9}$	356	3.99468096	$2.29 \cdot 10^{-24}$
317	3.152772838	$4.40 \cdot 10^{-10}$	357	4.016268347	$9.81 \cdot 10^{-25}$
318	3.174360226	$1.90 \cdot 10^{-10}$	358	4.037855735	$4.22 \cdot 10^{-25}$
319	3.195947614	$8.18 \cdot 10^{-11}$	359	4.059443123	$1.81 \cdot 10^{-25}$
320	3.217535001	$3.53 \cdot 10^{-11}$	360	4.08103051	$7.78 \cdot 10^{-26}$
321	3.239122389	$1.52 \cdot 10^{-11}$	361	4.102617898	$3.34 \cdot 10^{-26}$
322	3.260709777	$6.55 \cdot 10^{-12}$	362	4.124205286	$1.43 \cdot 10^{-26}$
323	3.282297165	$2.82 \cdot 10^{-12}$	363	4.145792674	$6.16 \cdot 10^{-27}$
324	3.303884552	$1.21 \cdot 10^{-12}$	364	4.167380061	$2.64 \cdot 10^{-27}$
325	3.32547194	$5.23 \cdot 10^{-13}$	365	4.188967449	$1.14 \cdot 10^{-27}$
326	3.347059328	$2.25 \cdot 10^{-13}$	366	4.210554837	$4.88 \cdot 10^{-28}$
327	3.368646716	$9.70 \cdot 10^{-14}$	367	4.232142224	$2.09 \cdot 10^{-28}$
328	3.390234103	$4.18 \cdot 10^{-14}$	368	4.253729612	$8.99 \cdot 10^{-29}$
329	3.411821491	$1.80 \cdot 10^{-14}$	369	4.275317	$3.86 \cdot 10^{-29}$
330	3.433408879	$7.74 \cdot 10^{-15}$			
331	3.454996266	$3.33 \cdot 10^{-15}$			
332	3.476583654	$1.43 \cdot 10^{-15}$			
333	3.498171042	$6.17 \cdot 10^{-16}$			
334	3.51975843	$2.66 \cdot 10^{-16}$			
335	3.541345817	$1.14 \cdot 10^{-16}$			
336	3.562933205	$4.92 \cdot 10^{-17}$			
337	3.584520593	$2.12 \cdot 10^{-17}$			
338	3.60610798	$9.10 \cdot 10^{-18}$			
339	3.627695368	$3.91 \cdot 10^{-18}$			
340	3.649282756	$1.68 \cdot 10^{-18}$			
341	3.670870144	$7.24 \cdot 10^{-19}$			
342	3.692457531	$3.11 \cdot 10^{-19}$			
343	3.714044919	$1.34 \cdot 10^{-19}$			
344	3.735632307	$5.76 \cdot 10^{-20}$			
345	3.757219695	$2.48 \cdot 10^{-20}$			
346	3.778807082	$1.06 \cdot 10^{-20}$			
347	3.80039447	$4.57 \cdot 10^{-21}$			

Lampiran 4. Data daya emisi spontan terhadap energi foton terhambur saat lebar devais 1 μm dan tebal 1 μm

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/\text{m}^3 \cdot \text{s}$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/\text{m}^3 \cdot \text{s}$)
1	0.712552833	0	38	0.942866367	0
2	0.718777523	0	39	0.949091057	0
3	0.725002214	0	40	0.955315747	0
4	0.731226904	0	41	0.961540437	0
5	0.737451594	0	42	0.967765127	0
6	0.743676284	0	43	0.973989818	0
7	0.749900974	0	44	0.980214508	0
8	0.756125664	0	45	0.986439198	0
9	0.762350354	0	46	0.992663888	0
10	0.768575044	0	47	0.998888578	0
11	0.774799734	0	48	1.005113268	0
12	0.781024424	0	49	1.011337958	0
13	0.787249115	0	50	1.017562648	0
14	0.793473805	0	51	1.023787338	0
15	0.799698495	0	52	1.030012029	0
16	0.805923185	0	53	1.036236719	0
17	0.812147875	0	54	1.042461409	0
18	0.818372565	0	55	1.048686099	0
19	0.824597255	0	56	1.054910789	0
20	0.830821945	0	57	1.061135479	0
21	0.837046635	0	58	1.067360169	0
22	0.843271325	0	59	1.073584859	0
23	0.849496016	0	60	1.079809549	0
24	0.855720706	0	61	1.086034239	0
25	0.861945396	0	62	1.09225893	0
26	0.868170086	0	63	1.09848362	0
27	0.874394776	0	64	1.10470831	0
28	0.880619466	0	65	1.110933	0
29	0.886844156	0	66	1.11715769	0
30	0.893068846	0	67	1.12338238	0
31	0.899293536	0	68	1.12960707	0
32	0.905518226	0	69	1.13583176	0
33	0.911742917	0	70	1.14205645	0
34	0.917967607	0	71	1.14828114	0
35	0.924192297	0	72	1.154505831	0
36	0.930416987	0	73	1.160730521	0
37	0.936641677	0	74	1.166955211	0

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3 .s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3 .s$)
75	1.173179901	0	112	1.392886968	0
76	1.179404591	0	113	1.397135831	0
77	1.185629281	0	114	1.400175494	0
78	1.191853971	0	115	1.403215156	0
79	1.198078661	0	116	1.406254819	0
80	1.204303351	0	117	1.409294482	0
81	1.210528041	0	118	1.411465896	0
82	1.216752732	0	119	1.41363731	0
83	1.222977422	0	120	1.415808724	0
84	1.229202112	0	121	1.417980138	0
85	1.235426802	0	122	1.41976152	0
86	1.241651492	0	123	1.421542902	0
87	1.247876182	0	124	1.423324285	0
88	1.254100872	0	125	1.425105667	$2.92. 10^{18}$
89	1.260325562	0	126	1.426887049	$4.96. 10^{18}$
90	1.266550252	0	127	1.428668431	$6.53. 10^{18}$
91	1.272774942	0	128	1.430449813	$7.82. 10^{18}$
92	1.278999633	0	129	1.432231195	$8.88. 10^{18}$
93	1.285224323	0	130	1.434364202	$9.86. 10^{18}$
94	1.291449013	0	131	1.436497208	$1.05. 10^{19}$
95	1.297673703	0	132	1.438630215	$1.09. 10^{19}$
96	1.303898393	0	133	1.440763222	$1.11. 10^{19}$
97	1.310123083	0	134	1.44369414	$1.09. 10^{19}$
98	1.316347773	0	135	1.446625059	$1.05. 10^{19}$
99	1.322572463	0	136	1.449555977	$9.97. 10^{18}$
100	1.328797153	0	137	1.452486896	$9.39. 10^{18}$
101	1.335021843	0	138	1.456235953	$8.64. 10^{18}$
102	1.341072207	0	139	1.45998501	$7.89. 10^{18}$
103	1.347122571	0	140	1.463734067	$7.16. 10^{18}$
104	1.353172934	0	141	1.467483124	$6.48. 10^{18}$
105	1.359223298	0	142	1.471465938	$5.80. 10^{18}$
106	1.364452569	0	143	1.475448753	$5.17. 10^{18}$
107	1.36968184	0	144	1.479431567	$4.59. 10^{18}$
108	1.374911111	0	145	1.483414382	$4.07. 10^{18}$
109	1.380140382	0	146	1.487478463	$3.59. 10^{18}$
110	1.384389244	0	147	1.491542544	$3.17. 10^{18}$
111	1.388638106	0	148	1.495606625	$2.78. 10^{18}$

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/m^3 \cdot s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/m^3 \cdot s$)
149	1.499670707	$2.44 \cdot 10^{18}$	186	1.650041712	$1.21 \cdot 10^{16}$
150	1.503734788	$2.14 \cdot 10^{18}$	187	1.654105793	$1.04 \cdot 10^{16}$
151	1.507798869	$1.87 \cdot 10^{18}$	188	1.658169874	$8.95 \cdot 10^{15}$
152	1.51186295	$1.64 \cdot 10^{18}$	189	1.662233956	$7.70 \cdot 10^{15}$
153	1.515927031	$1.43 \cdot 10^{18}$	190	1.666298037	$6.63 \cdot 10^{15}$
154	1.519991113	$1.25 \cdot 10^{18}$	191	1.670362118	$5.71 \cdot 10^{15}$
155	1.524055194	$1.09 \cdot 10^{18}$	192	1.674426199	$4.91 \cdot 10^{15}$
156	1.528119275	$9.46 \cdot 10^{17}$	193	1.67849028	$4.22 \cdot 10^{15}$
157	1.532183356	$8.24 \cdot 10^{17}$	194	1.682554362	$3.63 \cdot 10^{15}$
158	1.536247438	$7.16 \cdot 10^{17}$	195	1.686618443	$3.13 \cdot 10^{15}$
159	1.540311519	$6.22 \cdot 10^{17}$	196	1.690682524	$2.69 \cdot 10^{15}$
160	1.5443756	$5.40 \cdot 10^{17}$	197	1.694746605	$2.31 \cdot 10^{15}$
161	1.548439681	$4.69 \cdot 10^{17}$	198	1.698810687	$1.99 \cdot 10^{15}$
162	1.552503762	$4.07 \cdot 10^{17}$	199	1.702874768	$1.71 \cdot 10^{15}$
163	1.556567844	$3.53 \cdot 10^{17}$	200	1.706938849	$1.47 \cdot 10^{15}$
164	1.560631925	$3.06 \cdot 10^{17}$	201	1.71100293	$1.26 \cdot 10^{15}$
165	1.564696006	$2.65 \cdot 10^{17}$	202	1.715067012	$1.09 \cdot 10^{15}$
166	1.568760087	$2.29 \cdot 10^{17}$	203	1.719131093	$9.32 \cdot 10^{14}$
167	1.572824169	$1.98 \cdot 10^{17}$	204	1.723195174	$8.01 \cdot 10^{14}$
168	1.57688825	$1.72 \cdot 10^{17}$	205	1.727259255	$6.88 \cdot 10^{14}$
169	1.580952331	$1.48 \cdot 10^{17}$	206	1.731323336	$5.91 \cdot 10^{14}$
170	1.585016412	$1.28 \cdot 10^{17}$	207	1.735387418	$5.08 \cdot 10^{14}$
171	1.589080494	$1.11 \cdot 10^{17}$	208	1.739451499	$4.36 \cdot 10^{14}$
172	1.593144575	$9.59 \cdot 10^{16}$	209	1.74351558	$3.75 \cdot 10^{14}$
173	1.597208656	$8.28 \cdot 10^{16}$	210	1.747579661	$3.22 \cdot 10^{14}$
174	1.601272737	$7.15 \cdot 10^{16}$	211	1.751643743	$2.76 \cdot 10^{14}$
175	1.605336818	$6.17 \cdot 10^{16}$	212	1.755707824	$2.37 \cdot 10^{14}$
176	1.6094009	$5.33 \cdot 10^{16}$	213	1.759771905	$2.04 \cdot 10^{14}$
177	1.613464981	$4.60 \cdot 10^{16}$	214	1.763835986	$1.75 \cdot 10^{14}$
178	1.617529062	$3.97 \cdot 10^{16}$	215	1.767900067	$1.50 \cdot 10^{14}$
179	1.621593143	$3.42 \cdot 10^{16}$	216	1.771964149	$1.29 \cdot 10^{14}$
180	1.625657225	$2.95 \cdot 10^{16}$	217	1.77602823	$1.11 \cdot 10^{14}$
181	1.629721306	$2.54 \cdot 10^{16}$	218	1.780092311	$9.50 \cdot 10^{13}$
182	1.633785387	$2.19 \cdot 10^{16}$	219	1.784156392	$8.15 \cdot 10^{13}$
183	1.637849468	$1.89 \cdot 10^{16}$	220	1.788220474	$6.99 \cdot 10^{13}$
184	1.641913549	$1.63 \cdot 10^{16}$	221	1.792284555	$6.00 \cdot 10^{13}$
185	1.645977631	$1.40 \cdot 10^{16}$	222	1.796348636	$5.15 \cdot 10^{13}$

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/m^3 \cdot s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/m^3 \cdot s$)
223	1.800412717	$4.42 \cdot 10^{13}$	260	1.9830562	$4.30 \cdot 10^{10}$
224	1.804476798	$3.79 \cdot 10^{13}$	261	1.992992902	$2.94 \cdot 10^{10}$
225	1.80854088	$3.25 \cdot 10^{13}$	262	2.006841982	$1.73 \cdot 10^{10}$
226	1.812604961	$2.79 \cdot 10^{13}$	263	2.020691061	$1.02 \cdot 10^{10}$
227	1.816669042	$2.39 \cdot 10^{13}$	264	2.034540141	$6.00 \cdot 10^9$
228	1.820733123	$2.05 \cdot 10^{13}$	265	2.048389221	$3.53 \cdot 10^9$
229	1.824797205	$1.76 \cdot 10^{13}$	266	2.065798576	$1.81 \cdot 10^9$
230	1.828861286	$1.51 \cdot 10^{13}$	267	2.083207932	$9.30 \cdot 10^8$
231	1.832925367	$1.29 \cdot 10^{13}$	268	2.100617287	$4.77 \cdot 10^8$
232	1.836989448	$1.11 \cdot 10^{13}$	269	2.118026642	$2.44 \cdot 10^8$
233	1.84105353	$9.52 \cdot 10^{12}$	270	2.139251926	$1.08 \cdot 10^8$
234	1.845117611	$8.16 \cdot 10^{12}$	271	2.16047721	$4.79 \cdot 10^7$
235	1.849181692	$7.00 \cdot 10^{12}$	272	2.181702494	$2.12 \cdot 10^7$
236	1.853245773	$6.00 \cdot 10^{12}$	273	2.202927778	9348454.625
237	1.857309854	$5.14 \cdot 10^{12}$	274	2.224515166	4071785.608
238	1.861373936	$4.41 \cdot 10^{12}$	275	2.246102554	1772682.907
239	1.865438017	$3.78 \cdot 10^{12}$	276	2.267689942	771413.6906
240	1.869502098	$3.24 \cdot 10^{12}$	277	2.289277329	335553.772
241	1.873566179	$2.78 \cdot 10^{12}$	278	2.310864717	145902.5938
242	1.877630261	$2.38 \cdot 10^{12}$	279	2.332452105	63415.77214
243	1.881694342	$2.04 \cdot 10^{12}$	280	2.354039493	27553.18298
244	1.885758423	$1.75 \cdot 10^{12}$	281	2.37562688	11967.20137
245	1.889822504	$1.50 \cdot 10^{12}$	282	2.397214268	5195.960969
246	1.893886585	$1.28 \cdot 10^{12}$	283	2.418801656	2255.262274
247	1.897950667	$1.10 \cdot 10^{12}$	284	2.440389043	978.5688443
248	1.902014748	$9.42 \cdot 10^{11}$	285	2.461976431	424.4766365
249	1.906078829	$8.07 \cdot 10^{11}$	286	2.483563819	184.0724452
250	1.910928653	$6.71 \cdot 10^{11}$	287	2.505151207	79.79962343
251	1.915778477	$5.58 \cdot 10^{11}$	288	2.526738594	34.585505
252	1.920628301	$4.64 \cdot 10^{11}$	289	2.548325982	14.98553715
253	1.925478124	$3.86 \cdot 10^{11}$	290	2.56991337	6.491414388
254	1.932420117	$2.96 \cdot 10^{11}$	291	2.591500757	2.811244175
255	1.939362109	$2.27 \cdot 10^{11}$	292	2.613088145	1.217176392
256	1.946304101	$1.75 \cdot 10^{11}$	293	2.634675533	0.526874468
257	1.953246093	$1.34 \cdot 10^{11}$	294	2.656262921	0.228014635
258	1.963182795	$9.17 \cdot 10^{10}$	295	2.677850308	0.098655806
259	1.973119497	$6.28 \cdot 10^{10}$	296	2.699437696	0.042676638

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ \text{m}^3 \cdot \text{s}$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ \text{m}^3 \cdot \text{s}$)
297	2.721025084	0.018457295	334	3.51975843	$5.63 \cdot 10^{-16}$
298	2.742612472	0.007981018	335	3.541345817	$2.42 \cdot 10^{-16}$
299	2.764199859	0.003450346	336	3.562933205	$1.04 \cdot 10^{-16}$
300	2.785787247	0.001491368	337	3.584520593	$4.48 \cdot 10^{-17}$
301	2.807374635	$6.45 \cdot 10^{-4}$	338	3.60610798	$1.93 \cdot 10^{-17}$
302	2.828962022	$2.78 \cdot 10^{-4}$	339	3.627695368	$8.30 \cdot 10^{-18}$
303	2.85054941	$1.20 \cdot 10^{-4}$	340	3.649282756	$3.57 \cdot 10^{-18}$
304	2.872136798	$5.20 \cdot 10^{-5}$	341	3.670870144	$1.53 \cdot 10^{-18}$
305	2.893724186	$2.24 \cdot 10^{-5}$	342	3.692457531	$6.60 \cdot 10^{-19}$
306	2.915311573	$9.69 \cdot 10^{-6}$	343	3.714044919	$2.84 \cdot 10^{-19}$
307	2.936898961	$4.18 \cdot 10^{-6}$	344	3.735632307	$1.22 \cdot 10^{-19}$
308	2.958486349	$1.81 \cdot 10^{-6}$	345	3.757219695	$5.25 \cdot 10^{-20}$
309	2.980073737	$7.79 \cdot 10^{-7}$	346	3.778807082	$2.25 \cdot 10^{-20}$
310	3.001661124	$3.36 \cdot 10^{-7}$	347	3.80039447	$9.69 \cdot 10^{-21}$
311	3.023248512	$1.45 \cdot 10^{-7}$	348	3.821981858	$4.17 \cdot 10^{-21}$
312	3.0448359	$6.26 \cdot 10^{-8}$	349	3.843569245	$1.79 \cdot 10^{-21}$
313	3.066423287	$2.70 \cdot 10^{-8}$	350	3.865156633	$7.70 \cdot 10^{-22}$
314	3.088010675	$1.16 \cdot 10^{-8}$	351	3.886744021	$3.31 \cdot 10^{-22}$
315	3.109598063	$5.02 \cdot 10^{-9}$	352	3.908331409	$1.42 \cdot 10^{-22}$
316	3.131185451	$2.16 \cdot 10^{-9}$	353	3.929918796	$6.11 \cdot 10^{-23}$
317	3.152772838	$9.33 \cdot 10^{-10}$	354	3.951506184	$2.62 \cdot 10^{-23}$
318	3.174360226	$4.02 \cdot 10^{-10}$	355	3.973093572	$1.13 \cdot 10^{-23}$
319	3.195947614	$1.73 \cdot 10^{-10}$	356	3.99468096	$4.84 \cdot 10^{-24}$
320	3.217535001	$7.47 \cdot 10^{-11}$	357	4.016268347	$2.08 \cdot 10^{-24}$
321	3.239122389	$3.22 \cdot 10^{-11}$	358	4.037855735	$8.94 \cdot 10^{-25}$
322	3.260709777	$1.39 \cdot 10^{-11}$	359	4.059443123	$3.84 \cdot 10^{-25}$
323	3.282297165	$5.98 \cdot 10^{-12}$	360	4.08103051	$1.65 \cdot 10^{-25}$
324	3.303884552	$2.57 \cdot 10^{-12}$	361	4.102617898	$7.08 \cdot 10^{-26}$
325	3.32547194	$1.11 \cdot 10^{-12}$	362	4.124205286	$3.04 \cdot 10^{-26}$
326	3.347059328	$4.77 \cdot 10^{-13}$	363	4.145792674	$1.31 \cdot 10^{-26}$
327	3.368646716	$2.06 \cdot 10^{-13}$	364	4.167380061	$5.60 \cdot 10^{-27}$
328	3.390234103	$8.85 \cdot 10^{-14}$	365	4.188967449	$2.41 \cdot 10^{-27}$
329	3.411821491	$3.81 \cdot 10^{-14}$	366	4.210554837	$1.03 \cdot 10^{-27}$
330	3.433408879	$1.64 \cdot 10^{-14}$	367	4.232142224	$4.43 \cdot 10^{-28}$
331	3.454996266	$7.06 \cdot 10^{-15}$	368	4.253729612	$1.90 \cdot 10^{-28}$
332	3.476583654	$3.04 \cdot 10^{-15}$	369	4.275317	$8.18 \cdot 10^{-29}$
333	3.498171042	$1.31 \cdot 10^{-15}$			

Lampiran 5. Data daya emisi spontan terhadap energi foton terhambur saat lebar devais 3 μm dan tebal 1 μm

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/\text{m}^3 \cdot \text{s}$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/\text{m}^3 \cdot \text{s}$)
1	0.712552833	0	39	0.949091057	0
2	0.718777523	0	40	0.955315747	0
3	0.725002214	0	41	0.961540437	0
4	0.731226904	0	42	0.967765127	0
5	0.737451594	0	43	0.973989818	0
6	0.743676284	0	44	0.980214508	0
7	0.749900974	0	45	0.986439198	0
8	0.756125664	0	46	0.992663888	0
9	0.762350354	0	47	0.998888578	0
10	0.768575044	0	48	1.005113268	0
11	0.774799734	0	49	1.011337958	0
12	0.781024424	0	50	1.017562648	0
13	0.787249115	0	51	1.023787338	0
14	0.793473805	0	52	1.030012029	0
15	0.799698495	0	53	1.036236719	0
16	0.805923185	0	54	1.042461409	0
17	0.812147875	0	55	1.048686099	0
18	0.818372565	0	56	1.054910789	0
19	0.824597255	0	57	1.061135479	0
20	0.830821945	0	58	1.067360169	0
21	0.837046635	0	59	1.073584859	0
22	0.843271325	0	60	1.079809549	0
23	0.849496016	0	61	1.086034239	0
24	0.855720706	0	62	1.09225893	0
25	0.861945396	0	63	1.09848362	0
26	0.868170086	0	64	1.10470831	0
27	0.874394776	0	65	1.110933	0
28	0.880619466	0	66	1.11715769	0
29	0.886844156	0	67	1.12338238	0
30	0.893068846	0	68	1.12960707	0
31	0.899293536	0	69	1.13583176	0
32	0.905518226	0	70	1.14205645	0
33	0.911742917	0	71	1.14828114	0
34	0.917967607	0	72	1.154505831	0
35	0.924192297	0	73	1.160730521	0
36	0.930416987	0	74	1.166955211	0
37	0.936641677	0	75	1.173179901	0
38	0.942866367	0	76	1.179404591	0

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3 \cdot s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3 \cdot s$)
77	1.185629281	0	115	1.403215156	0
78	1.191853971	0	116	1.406254819	0
79	1.198078661	0	117	1.409294482	0
80	1.204303351	0	118	1.411465896	0
81	1.210528041	0	119	1.41363731	0
82	1.216752732	0	120	1.415808724	0
83	1.222977422	0	121	1.417980138	0
84	1.229202112	0	122	1.41976152	0
85	1.235426802	0	123	1.421542902	0
86	1.241651492	0	124	1.423324285	0
87	1.247876182	0	125	1.425105667	$1.38 \cdot 10^{18}$
88	1.254100872	0	126	1.426887049	$2.34 \cdot 10^{18}$
89	1.260325562	0	127	1.428668431	$3.08 \cdot 10^{18}$
90	1.266550252	0	128	1.430449813	$3.69 \cdot 10^{18}$
91	1.272774942	0	129	1.432231195	$4.19 \cdot 10^{18}$
92	1.278999633	0	130	1.434364202	$4.65 \cdot 10^{18}$
93	1.285224323	0	131	1.436497208	$4.98 \cdot 10^{18}$
94	1.291449013	0	132	1.438630215	$5.16 \cdot 10^{18}$
95	1.297673703	0	133	1.440763222	$5.23 \cdot 10^{18}$
96	1.303898393	0	134	1.44369414	$5.16 \cdot 10^{18}$
97	1.310123083	0	135	1.446625059	$4.96 \cdot 10^{18}$
98	1.316347773	0	136	1.449555977	$4.71 \cdot 10^{18}$
99	1.322572463	0	137	1.452486896	$4.43 \cdot 10^{18}$
100	1.328797153	0	138	1.456235953	$4.08 \cdot 10^{18}$
101	1.335021843	0	139	1.45998501	$3.72 \cdot 10^{18}$
102	1.341072207	0	140	1.463734067	$3.38 \cdot 10^{18}$
103	1.347122571	0	141	1.467483124	$3.06 \cdot 10^{18}$
104	1.353172934	0	142	1.471465938	$2.73 \cdot 10^{18}$
105	1.359223298	0	143	1.475448753	$2.44 \cdot 10^{18}$
106	1.364452569	0	144	1.479431567	$2.17 \cdot 10^{18}$
107	1.36968184	0	145	1.483414382	$1.92 \cdot 10^{18}$
108	1.374911111	0	146	1.487478463	$1.70 \cdot 10^{18}$
109	1.380140382	0	147	1.491542544	$1.49 \cdot 10^{18}$
110	1.384389244	0	148	1.495606625	$1.31 \cdot 10^{18}$
111	1.388638106	0	149	1.499670707	$1.15 \cdot 10^{18}$
112	1.392886968	0	150	1.503734788	$1.01 \cdot 10^{18}$
113	1.397135831	0	151	1.507798869	$8.84 \cdot 10^{17}$
114	1.400175494	0	152	1.51186295	$7.72 \cdot 10^{17}$

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3 .s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3 .s$)
153	1.515927031	$6.74. 10^{17}$	191	1.670362118	$2.69. 10^{15}$
154	1.519991113	$5.88. 10^{17}$	192	1.674426199	$2.32. 10^{15}$
155	1.524055194	$5.13. 10^{17}$	193	1.67849028	$1.99. 10^{15}$
156	1.528119275	$4.47. 10^{17}$	194	1.682554362	$1.71. 10^{15}$
157	1.532183356	$3.89. 10^{17}$	195	1.686618443	$1.47. 10^{15}$
158	1.536247438	$3.38. 10^{17}$	196	1.690682524	$1.27. 10^{15}$
159	1.540311519	$2.94. 10^{17}$	197	1.694746605	$1.09. 10^{15}$
160	1.5443756	$2.55. 10^{17}$	198	1.698810687	$9.38. 10^{14}$
161	1.548439681	$2.21. 10^{17}$	199	1.702874768	$8.06. 10^{14}$
162	1.552503762	$1.92. 10^{17}$	200	1.706938849	$6.93. 10^{14}$
163	1.556567844	$1.66. 10^{17}$	201	1.71100293	$5.96. 10^{14}$
164	1.560631925	$1.44. 10^{17}$	202	1.715067012	$5.12. 10^{14}$
165	1.564696006	$1.25. 10^{17}$	203	1.719131093	$4.40. 10^{14}$
166	1.568760087	$1.08. 10^{17}$	204	1.723195174	$3.78. 10^{14}$
167	1.572824169	$9.36. 10^{16}$	205	1.727259255	$3.25. 10^{14}$
168	1.57688825	$8.10. 10^{16}$	206	1.731323336	$2.79. 10^{14}$
169	1.580952331	$7.01. 10^{16}$	207	1.735387418	$2.40. 10^{14}$
170	1.585016412	$6.06. 10^{16}$	208	1.739451499	$2.06. 10^{14}$
171	1.589080494	$5.24. 10^{16}$	209	1.74351558	$1.77. 10^{14}$
172	1.593144575	$4.52. 10^{16}$	210	1.747579661	$1.52. 10^{14}$
173	1.597208656	$3.91. 10^{16}$	211	1.751643743	$1.30. 10^{14}$
174	1.601272737	$3.37. 10^{16}$	212	1.755707824	$1.12. 10^{14}$
175	1.605336818	$2.91. 10^{16}$	213	1.759771905	$9.61. 10^{13}$
176	1.6094009	$2.51. 10^{16}$	214	1.763835986	$8.25. 10^{13}$
177	1.613464981	$2.17. 10^{16}$	215	1.767900067	$7.09. 10^{13}$
178	1.617529062	$1.87. 10^{16}$	216	1.771964149	$6.08. 10^{13}$
179	1.621593143	$1.61. 10^{16}$	217	1.77602823	$5.22. 10^{13}$
180	1.625657225	$1.39. 10^{16}$	218	1.780092311	$4.48. 10^{13}$
181	1.629721306	$1.20. 10^{16}$	219	1.784156392	$3.85. 10^{13}$
182	1.633785387	$1.03. 10^{16}$	220	1.788220474	$3.30. 10^{13}$
183	1.637849468	$8.91. 10^{15}$	221	1.792284555	$2.83. 10^{13}$
184	1.641913549	$7.68. 10^{15}$	222	1.796348636	$2.43. 10^{13}$
185	1.645977631	$6.61. 10^{15}$	223	1.800412717	$2.08. 10^{13}$
186	1.650041712	$5.69. 10^{15}$	224	1.804476798	$1.79. 10^{13}$
187	1.654105793	$4.90. 10^{15}$	225	1.80854088	$1.53. 10^{13}$
188	1.658169874	$4.22. 10^{15}$	226	1.812604961	$1.32. 10^{13}$
189	1.662233956	$3.63. 10^{15}$	227	1.816669042	$1.13. 10^{13}$
190	1.666298037	$3.13. 10^{15}$	228	1.820733123	$9.68. 10^{12}$

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3.s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3.s$)
229	1.824797205	$8.30. 10^{12}$	267	2.083207932	$4.39. 10^8$
230	1.828861286	$7.12. 10^{12}$	268	2.100617287	$2.25. 10^8$
231	1.832925367	$6.11. 10^{12}$	269	2.118026642	$1.15. 10^8$
232	1.836989448	$5.24. 10^{12}$	270	2.139251926	$5.10. 10^7$
233	1.84105353	$4.49. 10^{12}$	271	2.16047721	$2.26. 10^7$
234	1.845117611	$3.85. 10^{12}$	272	2.181702494	9982244.803
235	1.849181692	$3.30. 10^{12}$	273	2.202927778	4410940.487
236	1.853245773	$2.83. 10^{12}$	274	2.224515166	1921216.263
237	1.857309854	$2.43. 10^{12}$	275	2.246102554	836416.1285
238	1.861373936	$2.08. 10^{12}$	276	2.267689942	363980.9666
239	1.865438017	$1.78. 10^{12}$	277	2.289277329	158326.4166
240	1.869502098	$1.53. 10^{12}$	278	2.310864717	68842.13982
241	1.873566179	$1.31. 10^{12}$	279	2.332452105	29921.86143
242	1.877630261	$1.12. 10^{12}$	280	2.354039493	13000.59258
243	1.881694342	$9.62. 10^{11}$	281	2.37562688	5646.561756
244	1.885758423	$8.24. 10^{11}$	282	2.397214268	2451.643604
245	1.889822504	$7.07. 10^{11}$	283	2.418801656	1064.114767
246	1.893886585	$6.05. 10^{11}$	284	2.440389043	461.7242806
247	1.897950667	$5.19. 10^{11}$	285	2.461976431	200.2835228
248	1.902014748	$4.45. 10^{11}$	286	2.483563819	86.85203285
249	1.906078829	$3.81. 10^{11}$	287	2.505151207	37.6523582
250	1.910928653	$3.17. 10^{11}$	288	2.526738594	16.31869103
251	1.915778477	$2.63. 10^{11}$	289	2.548325982	7.070716391
252	1.920628301	$2.19. 10^{11}$	290	2.56991337	3.062884929
253	1.925478124	$1.82. 10^{11}$	291	2.591500757	1.326446976
254	1.932420117	$1.40. 10^{11}$	292	2.613088145	0.574307977
255	1.939362109	$1.07. 10^{11}$	293	2.634675533	0.248598558
256	1.946304101	$8.24. 10^{10}$	294	2.656262921	0.107585509
257	1.953246093	$6.32. 10^{10}$	295	2.677850308	0.04654942
258	1.963182795	$4.33. 10^{10}$	296	2.699437696	0.020136382
259	1.973119497	$2.96. 10^{10}$	297	2.721025084	0.008708813
260	1.9830562	$2.03. 10^{10}$	298	2.742612472	0.003765728
261	1.992992902	$1.39. 10^{10}$	299	2.764199859	0.001627998
262	2.006841982	$8.17. 10^9$	300	2.785787247	$7.04. 10^{-4}$
263	2.020691061	$4.81. 10^9$	301	2.807374635	$3.04. 10^{-4}$
264	2.034540141	$2.83. 10^9$	302	2.828962022	$1.31. 10^{-4}$
265	2.048389221	$1.67. 10^9$	303	2.85054941	$5.68. 10^{-5}$
266	2.065798576	$8.55. 10^8$	304	2.872136798	$2.45. 10^{-5}$

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3 .s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3 .s$)
305	2.893724186	$1.06. 10^{-5}$	343	3.714044919	$1.34. 10^{-19}$
306	2.915311573	$4.57. 10^{-6}$	344	3.735632307	$5.76. 10^{-20}$
307	2.936898961	$1.97. 10^{-6}$	345	3.757219695	$2.48. 10^{-20}$
308	2.958486349	$8.52. 10^{-7}$	346	3.778807082	$1.06. 10^{-20}$
309	2.980073737	$3.68. 10^{-7}$	347	3.80039447	$4.57. 10^{-21}$
310	3.001661124	$1.59. 10^{-7}$	348	3.821981858	$1.97. 10^{-21}$
311	3.023248512	$6.85. 10^{-8}$	349	3.843569245	$8.45. 10^{-22}$
312	3.0448359	$2.95. 10^{-8}$	350	3.865156633	$3.63. 10^{-22}$
313	3.066423287	$1.27. 10^{-8}$	351	3.886744021	$1.56. 10^{-22}$
314	3.088010675	$5.49. 10^{-9}$	352	3.908331409	$6.70. 10^{-23}$
315	3.109598063	$2.37. 10^{-9}$	353	3.929918796	$2.88. 10^{-23}$
316	3.131185451	$1.02. 10^{-9}$	354	3.951506184	$1.24. 10^{-23}$
317	3.152772838	$4.40. 10^{-10}$	355	3.973093572	$5.32. 10^{-24}$
318	3.174360226	$1.90. 10^{-10}$	356	3.99468096	$2.29. 10^{-24}$
319	3.195947614	$8.18. 10^{-11}$	357	4.016268347	$9.81. 10^{-25}$
320	3.217535001	$3.53. 10^{-11}$	358	4.037855735	$4.22. 10^{-25}$
321	3.239122389	$1.52. 10^{-11}$	359	4.059443123	$1.81. 10^{-25}$
322	3.260709777	$6.55. 10^{-12}$	360	4.08103051	$7.78. 10^{-26}$
323	3.282297165	$2.82. 10^{-12}$	361	4.102617898	$3.34. 10^{-26}$
324	3.303884552	$1.21. 10^{-12}$	362	4.124205286	$1.43. 10^{-26}$
325	3.32547194	$5.23. 10^{-13}$	363	4.145792674	$6.16. 10^{-27}$
326	3.347059328	$2.25. 10^{-13}$	364	4.167380061	$2.64. 10^{-27}$
327	3.368646716	$9.70. 10^{-14}$	365	4.188967449	$1.14. 10^{-27}$
328	3.390234103	$4.18. 10^{-14}$	366	4.210554837	$4.88. 10^{-28}$
329	3.411821491	$1.80. 10^{-14}$	367	4.232142224	$2.09. 10^{-28}$
330	3.433408879	$7.74. 10^{-15}$	368	4.253729612	$8.99. 10^{-29}$
331	3.454996266	$3.33. 10^{-15}$	369	4.275317	$3.86. 10^{-29}$
332	3.476583654	$1.43. 10^{-15}$			
333	3.498171042	$6.17. 10^{-16}$			
334	3.51975843	$2.66. 10^{-16}$			
335	3.541345817	$1.14. 10^{-16}$			
336	3.562933205	$4.92. 10^{-17}$			
337	3.584520593	$2.12. 10^{-17}$			
338	3.60610798	$9.10. 10^{-18}$			
339	3.627695368	$3.91. 10^{-18}$			
340	3.649282756	$1.68. 10^{-18}$			
341	3.670870144	$7.24. 10^{-19}$			
342	3.692457531	$3.11. 10^{-19}$			

Lampiran 6. Data daya emisi spontan terhadap energi foton terhambur saat lebar devais 5 μm dan tebal 1 μm

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/\text{m}^3.\text{s}$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/\text{m}^3.\text{s}$)
1	0.712552833	0	38	0.942866367	0
2	0.718777523	0	39	0.949091057	0
3	0.725002214	0	40	0.955315747	0
4	0.731226904	0	41	0.961540437	0
5	0.737451594	0	42	0.967765127	0
6	0.743676284	0	43	0.973989818	0
7	0.749900974	0	44	0.980214508	0
8	0.756125664	0	45	0.986439198	0
9	0.762350354	0	46	0.992663888	0
10	0.768575044	0	47	0.998888578	0
11	0.774799734	0	48	1.005113268	0
12	0.781024424	0	49	1.011337958	0
13	0.787249115	0	50	1.017562648	0
14	0.793473805	0	51	1.023787338	0
15	0.799698495	0	52	1.030012029	0
16	0.805923185	0	53	1.036236719	0
17	0.812147875	0	54	1.042461409	0
18	0.818372565	0	55	1.048686099	0
19	0.824597255	0	56	1.054910789	0
20	0.830821945	0	57	1.061135479	0
21	0.837046635	0	58	1.067360169	0
22	0.843271325	0	59	1.073584859	0
23	0.849496016	0	60	1.079809549	0
24	0.855720706	0	61	1.086034239	0
25	0.861945396	0	62	1.09225893	0
26	0.868170086	0	63	1.09848362	0
27	0.874394776	0	64	1.10470831	0
28	0.880619466	0	65	1.110933	0
29	0.886844156	0	66	1.11715769	0
30	0.893068846	0	67	1.12338238	0
31	0.899293536	0	68	1.12960707	0
32	0.905518226	0	69	1.13583176	0
33	0.911742917	0	70	1.14205645	0
34	0.917967607	0	71	1.14828114	0
35	0.924192297	0	72	1.154505831	0
36	0.930416987	0	73	1.160730521	0
37	0.936641677	0	74	1.166955211	0

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3 .s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3 .s$)
75	1.173179901	0	112	1.392886968	0
76	1.179404591	0	113	1.397135831	0
77	1.185629281	0	114	1.400175494	0
78	1.191853971	0	115	1.403215156	0
79	1.198078661	0	116	1.406254819	0
80	1.204303351	0	117	1.409294482	0
81	1.210528041	0	118	1.411465896	0
82	1.216752732	0	119	1.41363731	0
83	1.222977422	0	120	1.415808724	0
84	1.229202112	0	121	1.417980138	0
85	1.235426802	0	122	1.41976152	0
86	1.241651492	0	123	1.421542902	0
87	1.247876182	0	124	1.423324285	0
88	1.254100872	0	125	1.425105667	$1.38. 10^{18}$
89	1.260325562	0	126	1.426887049	$2.34. 10^{18}$
90	1.266550252	0	127	1.428668431	$3.08. 10^{18}$
91	1.272774942	0	128	1.430449813	$3.69. 10^{18}$
92	1.278999633	0	129	1.432231195	$4.19. 10^{18}$
93	1.285224323	0	130	1.434364202	$4.65. 10^{18}$
94	1.291449013	0	131	1.436497208	$4.98. 10^{18}$
95	1.297673703	0	132	1.438630215	$5.16. 10^{18}$
96	1.303898393	0	133	1.440763222	$5.23. 10^{18}$
97	1.310123083	0	134	1.44369414	$5.16. 10^{18}$
98	1.316347773	0	135	1.446625059	$4.96. 10^{18}$
99	1.322572463	0	136	1.449555977	$4.71. 10^{18}$
100	1.328797153	0	137	1.452486896	$4.43. 10^{18}$
101	1.335021843	0	138	1.456235953	$4.08. 10^{18}$
102	1.341072207	0	139	1.45998501	$3.72. 10^{18}$
103	1.347122571	0	140	1.463734067	$3.38. 10^{18}$
104	1.353172934	0	141	1.467483124	$3.06. 10^{18}$
105	1.359223298	0	142	1.471465938	$2.73. 10^{18}$
106	1.364452569	0	143	1.475448753	$2.44. 10^{18}$
107	1.36968184	0	144	1.479431567	$2.17. 10^{18}$
108	1.374911111	0	145	1.483414382	$1.92. 10^{18}$
109	1.380140382	0	146	1.487478463	$1.70. 10^{18}$
110	1.384389244	0	147	1.491542544	$1.49. 10^{18}$
111	1.388638106	0	148	1.495606625	$1.31. 10^{18}$

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3.s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3.s$)
149	1.499670707	$1.15 \cdot 10^{18}$	186	1.650041712	$5.69 \cdot 10^{15}$
150	1.503734788	$1.01 \cdot 10^{18}$	187	1.654105793	$4.90 \cdot 10^{15}$
151	1.507798869	$8.84 \cdot 10^{17}$	188	1.658169874	$4.22 \cdot 10^{15}$
152	1.51186295	$7.72 \cdot 10^{17}$	189	1.662233956	$3.63 \cdot 10^{15}$
153	1.515927031	$6.74 \cdot 10^{17}$	190	1.666298037	$3.13 \cdot 10^{15}$
154	1.519991113	$5.88 \cdot 10^{17}$	191	1.670362118	$2.69 \cdot 10^{15}$
155	1.524055194	$5.13 \cdot 10^{17}$	192	1.674426199	$2.32 \cdot 10^{15}$
156	1.528119275	$4.47 \cdot 10^{17}$	193	1.67849028	$1.99 \cdot 10^{15}$
157	1.532183356	$3.89 \cdot 10^{17}$	194	1.682554362	$1.71 \cdot 10^{15}$
158	1.536247438	$3.38 \cdot 10^{17}$	195	1.686618443	$1.47 \cdot 10^{15}$
159	1.540311519	$2.94 \cdot 10^{17}$	196	1.690682524	$1.27 \cdot 10^{15}$
160	1.5443756	$2.55 \cdot 10^{17}$	197	1.694746605	$1.09 \cdot 10^{15}$
161	1.548439681	$2.21 \cdot 10^{17}$	198	1.698810687	$9.38 \cdot 10^{14}$
162	1.552503762	$1.92 \cdot 10^{17}$	199	1.702874768	$8.06 \cdot 10^{14}$
163	1.556567844	$1.66 \cdot 10^{17}$	200	1.706938849	$6.93 \cdot 10^{14}$
164	1.560631925	$1.44 \cdot 10^{17}$	201	1.71100293	$5.96 \cdot 10^{14}$
165	1.564696006	$1.25 \cdot 10^{17}$	202	1.715067012	$5.12 \cdot 10^{14}$
166	1.568760087	$1.08 \cdot 10^{17}$	203	1.719131093	$4.40 \cdot 10^{14}$
167	1.572824169	$9.36 \cdot 10^{17}$	204	1.723195174	$3.78 \cdot 10^{14}$
168	1.57688825	$8.10 \cdot 10^{16}$	205	1.727259255	$3.25 \cdot 10^{14}$
169	1.580952331	$7.01 \cdot 10^{16}$	206	1.731323336	$2.79 \cdot 10^{14}$
170	1.585016412	$6.06 \cdot 10^{16}$	207	1.735387418	$2.40 \cdot 10^{14}$
171	1.589080494	$5.24 \cdot 10^{16}$	208	1.739451499	$2.06 \cdot 10^{14}$
172	1.593144575	$4.52 \cdot 10^{16}$	209	1.74351558	$1.77 \cdot 10^{14}$
173	1.597208656	$3.91 \cdot 10^{16}$	210	1.747579661	$1.52 \cdot 10^{14}$
174	1.601272737	$3.37 \cdot 10^{16}$	211	1.751643743	$1.30 \cdot 10^{14}$
175	1.605336818	$2.91 \cdot 10^{16}$	212	1.755707824	$1.12 \cdot 10^{14}$
176	1.6094009	$2.51 \cdot 10^{16}$	213	1.759771905	$9.61 \cdot 10^{13}$
177	1.613464981	$2.17 \cdot 10^{16}$	214	1.763835986	$8.25 \cdot 10^{13}$
178	1.617529062	$1.87 \cdot 10^{16}$	215	1.767900067	$7.09 \cdot 10^{13}$
179	1.621593143	$1.61 \cdot 10^{16}$	216	1.771964149	$6.08 \cdot 10^{13}$
180	1.625657225	$1.39 \cdot 10^{16}$	217	1.77602823	$5.22 \cdot 10^{13}$
181	1.629721306	$1.20 \cdot 10^{16}$	218	1.780092311	$4.48 \cdot 10^{13}$
182	1.633785387	$1.03 \cdot 10^{16}$	219	1.784156392	$3.85 \cdot 10^{13}$
183	1.637849468	$8.91 \cdot 10^{15}$	220	1.788220474	$3.30 \cdot 10^{13}$
184	1.641913549	$7.68 \cdot 10^{15}$	221	1.792284555	$2.83 \cdot 10^{13}$
185	1.645977631	$6.61 \cdot 10^{15}$	222	1.796348636	$2.43 \cdot 10^{13}$

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3.s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3.s$)
223	1.800412717	$2.08. 10^{13}$	260	1.9830562	$2.03. 10^{10}$
224	1.804476798	$1.79. 10^{13}$	261	1.992992902	$1.39. 10^{10}$
225	1.80854088	$1.53. 10^{13}$	262	2.006841982	$8.17. 10^9$
226	1.812604961	$1.32. 10^{13}$	263	2.020691061	$4.81. 10^9$
227	1.816669042	$1.13. 10^{13}$	264	2.034540141	$2.83. 10^9$
228	1.820733123	$9.68. 10^{12}$	265	2.048389221	$1.67. 10^9$
229	1.824797205	$8.30. 10^{12}$	266	2.065798576	$8.55. 10^8$
230	1.828861286	$7.12. 10^{12}$	267	2.083207932	$4.39. 10^8$
231	1.832925367	$6.11. 10^{12}$	268	2.100617287	$2.25. 10^8$
232	1.836989448	$5.24. 10^{12}$	269	2.118026642	$1.15. 10^8$
233	1.84105353	$4.49. 10^{12}$	270	2.139251926	$5.10. 10^7$
234	1.845117611	$3.85. 10^{12}$	271	2.16047721	$2.26. 10^7$
235	1.849181692	$3.30. 10^{12}$	272	2.181702494	9982244.803
236	1.853245773	$2.83. 10^{12}$	273	2.202927778	4410940.487
237	1.857309854	$2.43. 10^{12}$	274	2.224515166	1921216.263
238	1.861373936	$2.08. 10^{12}$	275	2.246102554	836416.1285
239	1.865438017	$1.78. 10^{12}$	276	2.267689942	363980.9666
240	1.869502098	$1.53. 10^{12}$	277	2.289277329	158326.4166
241	1.873566179	$1.31. 10^{12}$	278	2.310864717	68842.13982
242	1.877630261	$1.12. 10^{12}$	279	2.332452105	29921.86143
243	1.881694342	$9.62. 10^{11}$	280	2.354039493	13000.59258
244	1.885758423	$8.24. 10^{11}$	281	2.37562688	5646.561756
245	1.889822504	$7.07. 10^{11}$	282	2.397214268	2451.643604
246	1.893886585	$6.05. 10^{11}$	283	2.418801656	1064.114767
247	1.897950667	$5.19. 10^{11}$	284	2.440389043	461.7242806
248	1.902014748	$4.45. 10^{11}$	285	2.461976431	200.2835228
249	1.906078829	$3.81. 10^{11}$	286	2.483563819	86.85203285
250	1.910928653	$3.17. 10^{11}$	287	2.505151207	37.6523582
251	1.915778477	$2.63. 10^{11}$	288	2.526738594	16.31869103
252	1.920628301	$2.19. 10^{11}$	289	2.548325982	7.070716391
253	1.925478124	$1.82. 10^{11}$	290	2.56991337	3.062884929
254	1.932420117	$1.40. 10^{11}$	291	2.591500757	1.326446976
255	1.939362109	$1.07. 10^{11}$	292	2.613088145	0.574307977
256	1.946304101	$8.24. 10^{10}$	293	2.634675533	0.248598558
257	1.953246093	$6.32. 10^{10}$	294	2.656262921	0.107585509
258	1.963182795	$4.33. 10^{10}$	295	2.677850308	0.04654942
259	1.973119497	$2.96. 10^{10}$	296	2.699437696	0.020136382

No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3 \cdot s$)	No	Energi foton terhambur (eV)	Daya emisi spontan ($1/ m^3 \cdot s$)
297	2.721025084	0.008708813	334	3.51975843	$2.66 \cdot 10^{-16}$
298	2.742612472	0.003765728	335	3.541345817	$1.14 \cdot 10^{-16}$
299	2.764199859	0.001627998	336	3.562933205	$4.92 \cdot 10^{-17}$
300	2.785787247	$7.04 \cdot 10^{-4}$	337	3.584520593	$2.12 \cdot 10^{-17}$
301	2.807374635	$3.04 \cdot 10^{-4}$	338	3.60610798	$9.10 \cdot 10^{-18}$
302	2.828962022	$1.31 \cdot 10^{-4}$	339	3.627695368	$3.91 \cdot 10^{-18}$
303	2.85054941	$5.68 \cdot 10^{-5}$	340	3.649282756	$1.68 \cdot 10^{-18}$
304	2.872136798	$2.45 \cdot 10^{-5}$	341	3.670870144	$7.24 \cdot 10^{-19}$
305	2.893724186	$1.06 \cdot 10^{-5}$	342	3.692457531	$3.11 \cdot 10^{-19}$
306	2.915311573	$4.57 \cdot 10^{-6}$	343	3.714044919	$1.34 \cdot 10^{-19}$
307	2.936898961	$1.97 \cdot 10^{-6}$	344	3.735632307	$5.76 \cdot 10^{-20}$
308	2.958486349	$8.52 \cdot 10^{-7}$	345	3.757219695	$2.48 \cdot 10^{-20}$
309	2.980073737	$3.68 \cdot 10^{-7}$	346	3.778807082	$1.06 \cdot 10^{-20}$
310	3.001661124	$1.59 \cdot 10^{-7}$	347	3.80039447	$4.57 \cdot 10^{-21}$
311	3.023248512	$6.85 \cdot 10^{-8}$	348	3.821981858	$1.97 \cdot 10^{-21}$
312	3.0448359	$2.95 \cdot 10^{-8}$	349	3.843569245	$8.45 \cdot 10^{-22}$
313	3.066423287	$1.27 \cdot 10^{-8}$	350	3.865156633	$3.63 \cdot 10^{-22}$
314	3.088010675	$5.49 \cdot 10^{-9}$	351	3.886744021	$1.56 \cdot 10^{-22}$
315	3.109598063	$2.37 \cdot 10^{-9}$	352	3.908331409	$6.70 \cdot 10^{-23}$
316	3.131185451	$1.02 \cdot 10^{-9}$	353	3.929918796	$2.88 \cdot 10^{-23}$
317	3.152772838	$4.40 \cdot 10^{-10}$	354	3.951506184	$1.24 \cdot 10^{-23}$
318	3.174360226	$1.90 \cdot 10^{-10}$	355	3.973093572	$5.32 \cdot 10^{-24}$
319	3.195947614	$8.18 \cdot 10^{-11}$	356	3.99468096	$2.29 \cdot 10^{-24}$
320	3.217535001	$3.53 \cdot 10^{-11}$	357	4.016268347	$9.81 \cdot 10^{-25}$
321	3.239122389	$1.52 \cdot 10^{-11}$	358	4.037855735	$4.22 \cdot 10^{-25}$
322	3.260709777	$6.55 \cdot 10^{-11}$	359	4.059443123	$1.81 \cdot 10^{-25}$
323	3.282297165	$2.82 \cdot 10^{-12}$	360	4.08103051	$7.78 \cdot 10^{-26}$
324	3.303884552	$1.21 \cdot 10^{-12}$	361	4.102617898	$3.34 \cdot 10^{-26}$
325	3.32547194	$5.23 \cdot 10^{-13}$	362	4.124205286	$1.43 \cdot 10^{-26}$
326	3.347059328	$2.25 \cdot 10^{-13}$	363	4.145792674	$6.16 \cdot 10^{-27}$
327	3.368646716	$9.70 \cdot 10^{-14}$	364	4.167380061	$2.64 \cdot 10^{-27}$
328	3.390234103	$4.18 \cdot 10^{-14}$	365	4.188967449	$1.14 \cdot 10^{-27}$
329	3.411821491	$1.80 \cdot 10^{-14}$	366	4.210554837	$4.88 \cdot 10^{-28}$
330	3.433408879	$7.74 \cdot 10^{-15}$	367	4.232142224	$2.09 \cdot 10^{-28}$
331	3.454996266	$3.33 \cdot 10^{-15}$	368	4.253729612	$8.99 \cdot 10^{-29}$
332	3.476583654	$1.43 \cdot 10^{-15}$	369	4.275317	$3.86 \cdot 10^{-29}$
333	3.498171042	$6.17 \cdot 10^{-16}$			

