



TESIS - SF185401

**ANALISIS MEDAN LISTRIK DUA DIMENSI
PADA NANOSTRUKTUR *Zinc Oxide* (ZnO)
DENGAN TEMPLATE ANODIC ALUMINUM
OXIDE (AAO) UNTUK DETEKSI GLUKOSA
DARAH**

**AHMAD RIDLO HANIFUDIN TAHIER
NRP 01111850012006**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr.rer.nat Agus Rubiyanto
Dr.rer.nat Nasori**

**Program Magister
Bidang Keahlian Fisika Medis dan Biofisika
Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**



TESIS - SF185401

**ANALISIS MEDAN LISTRIK DUA DIMENSI
PADA NANOSTRUKTUR Zinc Oxide (ZnO)
DENGAN TEMPLATE ANODIC ALUMINUM
OXIDE (AAO) UNTUK DETEKSI GLUKOSA
DARAH**

**AHMAD RIDLO HANIFUDIN TAHIER
NRP 01111850012006**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr.rer.nat Agus Rubiyanto
Dr.rer.nat Nasori**

**Program Magister
Bidang Keahlian Fisika Medis dan Biofisika
Departemen Fisika
Fakultas Sains Dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2021**



THESIS - SF185401

**TWO DIMENSIONAL ELECTRIC FIELD
DISTRIBUTION ANALYSIS OF Zinc Oxide (ZNO)
NANOSTRUCTURE USING ANODIC ALUMINUM
OXIDE (AAO) TEMPLATE FOR GLUCOSE BLOOD
MONITORING**

**AHMAD RIDLO HANIFUDIN TAHIER
NRP 01111850012006**

Advisors

Prof. Dr.rer.nat Agus Rubiyanto

Dr.rer.nat Nasori

Master Program

Field of Medical Physics and Biophysics

Departement of Physics

Faculty of Sciences and Data Analytics

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

2021

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M.Si)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

AHMAD RIDLO HANIFUDIN TAHIER

NRP: 01111850012006

Tanggal Ujian:

Periode Wisuda: April 2021

Disetujui oleh:

Pembimbing:

1. **Prof. Dr.rer.nat Agus Rubiyanto**
NIP: 19650619 198903 1 001

2. **Dr.rer.nat Nasori**
NIP: 1981201831065

Penguji:

1. **Endarko, Ph.D.**
NIP:19741117199903 1 001

2. **Mohammad Haekal, Ph.D.**
NIP: 1990202011035

3. **Dr. Mochamad Zainuri, M.Si**
NIP: 19640130199002 1 001

**Kepala Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Instirut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya**

Dr. Gatut Yudoyono, MT.
NIP. 196406161989031004

Analisis Medan Listrik Dua Dimensi pada nanostruktur (*Zinc Oxide*) ZnO template AAO sebagai Deteksi Glukosa Darah

Nama : Ahmad Ridlo Hanifudin Tahier
NRP : 01111850012006
Departemen/Fakultas : Fisika/Sains dan Analitika Data ITS
Pembimbing : Prof. Dr.rer.nat. Agus Rubiyanto
Co-pembimbing : Dr.rer.nat. Nasori

ABSTRAK

Analisis medan listrik dua dimensi menggunakan metode *Finite Difference Time Domain* (FDTD) menjadi salah satu metode yang paling baik digunakan untuk mendapatkan karakterisasi material berdasarkan sifat optiknya. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan karakterisasi material ZnO berdasarkan Analisis medan listrik menggunakan metode (FDTD) di dalam medium dengan variasi konsentrasi glukosa. Nanostruktur ZnO memiliki geometri ukuran sebesar 150x150x500 nm dengan menggunakan template *Anodic Aluminum Oxide* (AAO). Pemberian cahaya / gelombang elektromagnetik kepada nanostruktur ZnO dengan template AAO yang memiliki perbedaan nilai indeks bias dideteksi dengan metode FDTD sehingga menunjukkan sebaran medan elektromagnetik pada material. Medium yang digunakan divariasi menggunakan darah dengan kadar glukosa rendah (hipoglikemia), darah normal, dan darah dengan kadar glukosa tinggi (hiperglikemia). Jarak antar nanostruktur divariasi pada jarak 100 nm dan 250 nm untuk menentukan jarak optimal yang mempengaruhi pola distribusi. Parameter optic yang digunakan sebagai input dalam penelitian ini adalah nilai indeks bias. Nilai indeks bias dimasukkan ke dalam persamaan sehingga didapatkan energi optimum untuk dapat bereaksi dengan glukosa sehingga Analisis FDTD bisa digunakan sebagai acuan awal untuk pedoman pembuatan system deteksi dini glukosa darah. Interaksi antara gelombang elektromagnetik dengan nanostruktur di dalam medium memberikan hasil yang berupa nilai medan listrik maksimum, kontur distribusi medan listrik, dan absorbansi medan listrik didalam medium. Berdasarkan penelitian, didapatkan hasil bahwa pemberian gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang sebesar 400-550 nm dan jarak antar nanostruktur sebesar 100 nm dapat melakukan penetrasi hingga ke bagian bawah nanostruktur didalam medium dengan variasi konsentrasi glukosa.

Kata kunci: AAO, FDTD, Glukosa darah, ZnO

Two-dimensional Electric Field Analysis for AAO Structure of Zinc Oxide (ZnO) as an Alternative Glucose Sensor

Name : Ahmad Ridlo Hanifudin Tahier
NRP : 01111850012006
Supervisor : Prof. Dr.rer.nat. Agus Rubiyanto
Co-Supervisor : Dr.rer.nat. Nasori

Abstract

Two-dimensional Electric field analysis using Finite Difference Time Domain method widely used to characterized a material based on optical properties. This research has aim to determine the characterization of ZnO nanostructure based on electric field analysis using the (FDTD) method in a various medium. The ZnO nanostructure model geometry has size 150x150x500 nm using the Anodic Aluminum Oxide (AAO) template. The medium in this model was used on a blood with low glucose levels (hypoglycemia), normal blood, and blood with high glucose levels (hyperglycemia). The distance between the nanostructures was varied at a distance of 100 nm and 250 nm to determine the optimal distance that affects the distribution pattern. The optical parameter used as input in this study is the refractive index value. The refractive index value is included in the equation so that the optimum energy to react with glucose is obtained so that the FDTD analysis can be used as an initial reference for guidelines for making a blood glucose monitoring system. The interaction between electromagnetic waves and nanostructures in the medium produce results as maximum electric field value, contour of the electric field distribution, and an absorbance of electric field in the medium. Based on the research, it was found that optimal wavelength of electromagnetic waves was on range 400 nm and the optimum distance between nanostructures ZnO was 100 nm because can penetrate to the bottom of the nanostructures in the various medium of glucose concentration.

Keywords: AAO, FDTD, Glucose sensor, ZnO

KATA PENGANTAR

Dengan ucapan Alhamdulillah dan puji syukur yang begitu besar penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan nikmat dan rahmat-Nya, penulis akhirnya bisa menyelesaikan Tesis sebagai syarat wajib untuk memperoleh gelar Magister Sains (M.Si) di Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan judul:

“Analisis Medan Listrik Dua Dimensi pada Nanostruktur *Zinc Oxide (ZnO)* Template Anodic Aluminum Oxide (AAO) untuk Deteksi Glukosa Darah”

Keberhasilan penulisan Tesis ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua dan saudara-saudari terbaik yang selalu memberikan dukungan moril maupun materi, motivasi dan doa sepenuhnya kepada penulis.
2. Prof. Agus Rubiyanto selaku dosen wali yang telah memberikan pengarahan, dukungan dan ilmunya selama penulis menjadi mahasiswa ITS sekaligus dosen pembimbing I dan Dr.rer.nat Nasori selaku dosen pembimbing II yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan, membagi ilmu dan pengalaman selama proses penelitian sampai terselesaikannya Tesis ini.
3. Endarko Ph.D, Haekal, Ph.D dan Dr. Mochamad Zainuri, M.Si selaku dosen penguji Tesis yang telah memberikan saran, masukan, kritik yang membangun serta memberikan pemahaman lebih kepada penulis.
4. Seluruh Staf Pengajar di Departemen Fisika FSAD ITS, terimakasih atas pendidikan, ilmu pengetahuan, dan motivasi yang telah diberikan.
5. Ernik Dwi Safitri, Muhammad Ainur Rofiq, Zainul Muzaki, Shofi Makhafidz, Maksun Al Fikri yang telah memberikan dukungan moral maupun materi selama saya menjalani program S2 di ITS.
6. Rekan angkatan Fisika 2012 Universitas Jember “LORENTZ + Abul Basyar” yang telah memberikan pelajaran terbaik dan motivasi untuk selalu berkembang menjadi lebih baik.

7. Teman seperjuangan mahasiswa Pascasarjana Fisika angkatan 2018: Zaki, Yusron, Andri, Zahro, Amel, Akifah, Nura, Yusran, Nisa, Laila, dan yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis selama studi di S2-Fisika.
8. Teman satu Tim Laboratorium yaitu Daus, Adit, Nura, Ulya, Vinda, Anthonia, Aviva yang banyak membantu penulis dalam proses kalkulasi dan analisis data.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat sebutkan satu persatu baik di HMI, Warung Qirun, UKM SPORA dan lain-lain.

Penulis berharap Tesis ini dapat memberikan wacana bagi perkembangan ilmu pengetahuan pada umumnya serta memberi manfaat bagi pembaca. Penulis menyadari Tesis ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari berbagai pihak untuk kesempurnaan penulisan selanjutnya.

Surabaya, Januari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS	i
ABSTRAK	iii
<i>Abstract</i>	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.1 Rumusan Masalah	3
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Batasan Masalah Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II	5
DASAR TEORI	5
2.1 Biosensor	5
2.2 Glukosa	6
2.3 Diabetes	7
2.4 Hemoglobin	8
2.5 Anodic Aluminum Oxide (AAO)	8
2.6 Zinc Oxide (ZnO)	9
2.7 <i>Finite Difference Time Domain</i>	10
2.8 Algoritma Yee	10
2.9 Indeks Bias	12
2.10 Absorbansi	13
BAB III	15
METODE PENELITIAN	15
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	15

3.2	Bahan dan Alat.....	15
3.3	Prosedur Penelitian.....	15
3.3.1	Inisiasi Model	15
3.3.2	Analisis Komputasi.....	16
3.4	Diagram Alir	19
3.5.1	Pengukuran nilai Medan Listrik Maksimum	20
3.5.2	Absorbansi.....	22
BAB IV		25
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		25
4.1	Hipoglikemia	29
4.1.1	Medan listrik maksimum	29
4.1.2	Distribusi Medan Listrik kontur warna.....	32
4.1.3	Absorbansi	34
4.2	Darah Normal	39
4.2.1	Medan Listrik maksimum darah normal	40
4.2.2	Kontur warna distribusi medan listrik	43
4.2.3	Absorbansi	45
4.3	Hiperglikemia	47
4.3.1	Medan listrik maksimum hiperglikemia.....	48
4.3.2	Kontur distribusi medan listrik pada medium hiperglikemia	51
4.3.3	Absorbansi pada medium hiperglikemia	53
4.4	Variasi Medium.....	55
BAB 5.....		57
PENUTUP		57
5.1	Kesimpulan.....	57
5.2	Saran	57
LAMPIRAN		59
BIODATA PENULIS		85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Leapfrog pada algoritma Yee	10
Gambar 2.2 Kisi medan listrik dan medan magnet	11
Gambar 2.3 Arah medan pada kisi.....	11
Gambar 3. 1 Model komputasi nanostruktur ZnO	16
Gambar 3. 2 Arah sumber gelombang elektromagnetik	17
Gambar 3. 3 Mesh model	18
Gambar 3. 4 Model nanostruktur ZnO array 3x3.....	18
Gambar 3. 5 Irisan bidang YZ.....	20
Gambar 3. 6 Irisan bidang XY pada kedalaman 450 nm	21
Gambar 3. 7 Irisan bidang XY pada kedalaman 50 nm	21
Gambar 3. 8 Grafik medan listrik maksimum.....	22
Gambar 3. 9 Grafik Absorbansi	22
Gambar 4. 1 Validasi data penelitian	27
Gambar 4.2 Medan listrik maksimum medium udara.....	28
Gambar 4.3 Kontur warna medan listrik medium udara.....	28
Gambar 4. 4 Medan listrik maksimum array 4x4 hipoglikemia.	29
Gambar 4. 5 Medan listrik maksimum array 3x3 hipoglikemia	30
Gambar 4. 6 Kontur medan listrik array 4x4 hipoglikemia.	32
Gambar 4. 7 Kontur medan listrik array 3x3 hipoglikemia	33
Gambar 4. 8 Absorbansi medium hipoglikemia array 4x4	35
Gambar 4. 9 Kontur medan listrik array 4x4 kedalaman 450 nm.....	36
Gambar 4. 10 Absorbansi medium hipoglikemia array 3x3	37
Gambar 4. 11 Kontur medan listrik array 3x3 kedalaman 450 nm.....	38
Gambar 4. 12 Medan listrik maksimum array 4x4 darah normal.	40
Gambar 4. 13 Medan listrik maksimum array 3x3 darah normal.	41
Gambar 4. 14 Kontur medan listrik array 4x4 darah normal	43
Gambar 4. 15 Kontur medan listrik array 3x3 darah normal	44
Gambar 4. 16 Absorbansi medium darah normal array 4x4	45
Gambar 4. 17 Kontur medan listrik array 4x4 kedalaman 450 darah normal.....	46
Gambar 4. 18 Kontur medan listrik array 3x3 kedalaman 450 darah normal.....	47
Gambar 4. 19 Medan listrik maksimum array 4x4 hiperglikemia	49
Gambar 4. 20 Medan listrik maksimum array 3x3 hiperglikemia	50
Gambar 4. 21 Kontur medan listrik array 4x4 hiperglikemia	51
Gambar 4. 22 Kontur medan listrik array 3x3 hiperglikemia	52
Gambar 4. 23 Absorbansi medium hiperglikemia array 4x4	53
Gambar 4. 24 Absorbansi medium hiperglikemia array 3x3	54
Gambar 4. 25 Distribusi medan listrik pada medium yang berbeda.....	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Indikator Kadar Gula dalam Darah	7
Tabel 2.2 Komponen medan dalam indeks	12

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	59
1. Tabel medan listrik maksimum hipoglikemia.....	59
2. Tabel medan listrik maksimum darah normal.....	60
3. Tabel medan listrik maksimum Hiperglikemia.....	61
4. Kontur medan listrik medium hipoglikemia array 4x4.....	62
4.1 tampak samping	62
4.2 tampak atas kedalaman 50 nm.....	63
4.3 tampak atas kedalaman 450 nm.....	64
5. Hipoglikemia array 3x3.....	65
5.1 tampak samping	65
5.2 Tampak atas kedalaman 50 nm.....	66
5.3 Tampak atas kedalaman 450 nm.....	68
6. Darah normal array 4x4	69
6.1 tampak samping	69
6.2 Tampak atas kedalaman 50 nm.....	70
6.3 Tampak atas kedalaman 450 nm.....	71
7. Darah normal array 3x3	73
7.1 tampak samping	73
7.2 Tampak atas kedalaman 50 nm.....	74
7.3 Tampak atas kedalaman 450 nm.....	75
8. Hiperglikemia array 4x4	77
8.1 Tampak samping.....	77
8.2 Tampak atas kedalaman 50 nm.....	78
8.3 Tampak atas kedalaman 450 nm.....	79
9. Hiperglikemia array 3x3	80
9.1 Tampak samping.....	80
9.2 Tampak atas kedalaman 50 nm.....	81
9.3 Tampak atas kedalaman 450 nm.....	83

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Diabetes Militus menjadi penyakit epidemik global yang hampir dimiliki oleh setiap Negara di dunia. Menurut *World Health Organization (WHO)*, setidaknya sekitar 350 juta orang di dunia menderita penyakit diabetes, dan diproyeksikan bahwa diabetes akan menjadi penyakit nomor tujuh yang menyebabkan kematian pada tahun 2030 (WHO, 2011). Deteksi dini glukosa darah bagus untuk monitoring dan kontrol glukosa untuk memberikan perlakuan yang sesuai baik untuk diagnosa maupun terapi penyakit diabetes.

Glukosa merupakan salah satu monosakarida sederhana yang punya rumus molekul $C_6H_{12}O_6$ sebagai suatu bahan bakar pada makhluk hidup. Glukosa digunakan pada proses respirasi baik pada respirasi aerob, respirasi anaerob maupun pada proses fermentasi. Melalui glikolisis dan siklus asam sitrat, glukosa dioksidasi membentuk CO_2 dan air menghasilkan sumber energi dalam bentuk *Adenosina trifosfat (ATP)* (Murray, 2009). Darah manusia normal mengandung glukosa dalam jumlah atau konsentrasi tetap yaitu antara 70-100 mg/100 ml sedangkan penderita diabetes militus kadar glukosa darah lebih dari 130 mg/100 ml darah.

Biosensor adalah perangkat analisis yang menggabungkan komponen hayati dengan pendeteksi fisiokimia untuk mendeteksi zat kimia tertentu. Biosensor mengalami pengembangan yang signifikan dalam dunia kesehatan. Biosensor banyak digunakan untuk mendeteksi protein di dalam tubuh, salah satunya adalah sensor glukosa (Nichols, 2013). Biosensor pendeteksi kadar glukosa darah memanfaatkan enzim glukosa oksidase untuk memecah ikatan gula darah. Cara kerja biosensor dengan mengukur elektron hasil oksidasi glukosa untuk mereduksi *Flavin Adenina Dinukleotida (FAD)* menjadi $FADH_2$. Lalu $FADH_2$ hasil reduksi dioksidasi oleh elektroda dan *sensing* hasil dua elektron dari elektroda. Hasilnya adalah arus listrik yang mengukur konsentrasi glukosa

(Susanti, 2017). Pada penelitian ini, yang berfungsi sebagai transduser adalah elektroda dan enzim sebagai elemen biologis sensitif.

Cao *et al* (2013), melakukan sintesis bimetal nanochains PtCu dengan reaksi kimia dengan skala mesoskopis dengan proses *facile dealloying*. Pengukuran elektrokimia mendemonstrasikan bahwa sensor yang dibuat dari material PtCu sangat sensitif dan selektif untuk mendeteksi glukosa berdasarkan *disperse* kristal, nanoporous, permukaan dan efek sinergetik dari atom alloy. Hasil dari sensor yang ditunjukkan sangat baik untuk pengukuran glukosa dalam sampel serum.

Biosensor juga dimodifikasi dengan nanomaterial sehingga menjadi biosensor dengan ukuran nanometer. Hal ini sangat menguntungkan karena nanomaterial memiliki sensitivitas tinggi jika digunakan dalam pengukuran. Salah satu template yang digunakan dalam nanomaterial ini adalah *Anodic Aluminum Oxide* (AAO). Elektrokatalisis nonenzimatik pada oksidasi glukosa dapat digunakan sebagai teknologi alternatif. Bergantung dengan respon arus dari oksidasi glukosa secara langsung dengan permukaan elektroda sehingga mampu mendapatkan sensitivitas yang tinggi.

Cara kerja dari sensor elektrokimia ZnO berasal oleh reaksi antara ZnO dengan spesimen elektroaktif dalam darah seperti glukosa. Sinyal keluaran yang dapat ditekesi adalah arus listrik hasil dari beberapa proses (Wei, 2010). Glukosa Oksidase adalah sebuah enzim stabil yang membantu proses oksidasi glukosa menjadi glukolaktone dan merubah oksigen menjadi hydrogen peroksida. Hydrogen peroksida adalah sebuah *compound* sederhana yang terdiri dari ikatan tunggal oksigen-oksigen. Langkah terakhir dari reaksi ini adalah produksi elektron bebas. Reaksi ini dikenal sebagai disosiasi hydrogen peroksida dan elektron bebas yang dihasilkan dari proses ini diukur sebagai output arus listrik (Yang, 2009).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nanostruktur ZnO dengan metode FDTD pada template *Anodic Aluminum Oxide* (AAO). Analisis dengan metode FDTD pada nanostruktur ZnO akan menunjukkan distribusi gelombang elektromagnetik sebagai fungsi panjang gelombang yang berbeda. Variasi medium pada simulasi ini diharapkan mampu memberikan detail informasi pada

nanostruktur ZnO sebagai deteksi dini glukosa darah. Hasil penelitian ini akan melengkapi informasi karakteristik ZnO untuk digunakan sebagai sensor pendeteksi glukosa darah. Metode ini akan sangat berguna untuk pengembangan sensor atau detektor berbasis elektroda dengan *array* nanostruktur untuk aplikasi fisika medis dan biofisika. Penggunaan struktur nano membuat data yang terukur pada sensor semakin akurat. Manfaat penelitian ini bisa digunakan untuk penelitian lebih lanjut seperti untuk pengukuran konsentrasi glukosa dalam darah tanpa memasukkan alat ke dalam tubuh (*non-invasive*).

1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, didapatkan rumusan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi glukosa terhadap distribusi medan listrik 2D pada nanostruktur ZnO template AAO?
2. Bagaimana hubungan panjang gelombang terhadap pola distribusi medan listrik pada nanostruktur ZnO?
3. Bagaimana pengaruh kerapatan nanostruktur ZnO pada distribusi medan listrik pada model penelitian?

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh konsentrasi glukosa pada distribusi medan listrik dua dimensi pada nanostruktur ZnO template AAO.
2. Mengetahui pengaruh panjang gelombang terhadap pola distribusi medan listrik pada nanostruktur ZnO.
3. Mengetahui pengaruh kerapatan nanostruktur terhadap distribusi medan listrik pada nanostruktur ZnO.

1.3 Batasan Masalah Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Analisis medan listrik yang digunakan adalah analisis dua dimensi pada *cross section* bidang XY dan bidang YZ.
2. Paparan panjang gelombang pada rentang 300 – 750 nm.
3. Model yang dianalisis adalah nanostruktur ZnO template AAO pada medium hiperglikemia, darah normal dan hiperglikemia.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin didapatkan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pola distribusi medan listrik pada material yang akan digunakan sebagai deteksi glukosa darah.
2. Mengetahui panjang gelombang optimal untuk deteksi glukosa darah menggunakan nanostruktur ZnO.
3. Mengetahui jarak antar nanostruktur untuk distribusi optimal gelombang elektromagnetik
4. Mendapatkan hasil analisis yang kemudian bisa digunakan sebagai acuan pembuatan sistem deteksi glukosa darah.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Biosensor

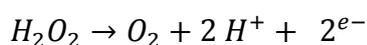
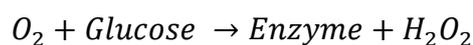
Biosensor menjadi salah satu topik bahasan penting dalam beberapa dekade terakhir. Biosensor digunakan secara luas untuk mengukur tingkat protein di dalam tubuh, termasuk glukosa. Biosensor adalah perangkat analisis yang menggabungkan komponen hayati dengan pendeteksi fisiokimia untuk mendeteksi zat kimia tertentu. Clarks dan Lyson menjelaskan bagaimana membuat sensor elektrokimia yang lebih baik dengan penambahan transduser enzim (Clark, 1962).

Biosensor mengalami pengembangan yang signifikan dalam dunia kesehatan. Biosensor banyak digunakan untuk mendeteksi protein di dalam tubuh, salah satunya adalah sensor glukosa. Biosensor pendeteksi glukosa darah memanfaatkan enzim glukosa oksidase untuk memecah gula darah. Prinsip kerja biosensor adalah dengan memanfaatkan sepasang electron hasil oksidasi glukosa untuk mengurai *Flavin Adenina Dinukleotida* (FAD) diteruskan FAD dan H₂. Proses selanjutnya, FADH₂ dengan bantuan elektroda secara bertahap akan menerima elektron. Hasilnya adalah arus listrik yang mewakili konsentrasi glukosa. Pada penelitian ini, yang berfungsi sebagai transduser adalah elektroda dan enzim sebagai elemen biologis sensitive (Susanti, 2017).

Berdasarkan definisi dari *International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)* yang mendefinisikan bahwa biosensor adalah perangkat terintegrasi yang mampu memberikan informasi analitik kuantitatif atau semi-kuantitatif menggunakan elemen biologis (reseptor biokimia) yang berada dalam kontak spasial langsung dengan elemen transduser. Biosensor berbeda dari sistem bioanalitik, yang membutuhkan langkah-langkah pemrosesan tambahan, seperti penambahan reagen. Biosensor juga berbeda dari bioprobe yang harus dibuang setelah satu kali pengukuran atau sekali pakai (Thevenot, 1999).

2.2 Glukosa

Glukosa adalah bagian penting dari darah yang mengindikasikan energi dari sel darah merah dan dapat menentukan sehat atau tidaknya bagian tubuh sebagai penyuplai oksigen. Sehingga identifikasi penyakit seperti diabetes yang disebabkan oleh aktifitas enzim insulin di pankreas dapat dideteksi melalui kadar glukosa. Glukosa mempunyai peranan penting dalam metabolisme tubuh. Biosensor glukosa berkontribusi secara signifikan untuk monitoring klinis setelah penemuan sensor optik dari Clark dan Lyons pada tahun 1962. Mekanisme *optical sensing* menerima perhatian besar pada area industri kontrol proses, militer, monitoring lingkungan, diagnosis medis dan lain lain. Biosensor digunakan secara luas untuk mengukur tingkat protein di dalam tubuh, termasuk glukosa. Clarks dan Lyson menjelaskan bagaimana membuat sensor elektrokimia yang lebih baik dengan penambahan transduser enzim (Clark, 1962).



Biosensor pengukur gula darah menggunakan enzim Glukosa Oksidase (GOx) untuk memecah gula darah. Biosensor ini bekerja dengan mengoksidasi glukosa dan hasilnya elektroda menerima dua elektron sehingga arus listrik yang mewakili terukur mewakili konsentrasi glukosa (Susanti, 2017).

Konsentrasi glukosa dipengaruhi oleh besaran fisis seperti indeks bias, gravitasi spesifik, tegangan permukaan, dan viskositas. Secara umum, glukosa pada urin dikenal dengan sebutan *Glycosuria* dan rentang kondisi normal berada pada 0 mg/dl sampai 15 mg/dl. Jika levelnya meningkat dari keadaan normal berarti glukosa dalam darah berada pada level yang tinggi. Glukosa darah normal berada diantara 70 mg/dl dan 130mg/dl. Level yang kurang dari tingkat tersebut dikenal dengan hipoglikemia. Sedangkan pada tingkat yang lebih tinggi disebut hiperglikemia dengan rentang 200 mg/dl sampai 360 mg/dl . Hal ini kemudian bisa digunakan sebagai indikasi penyakit diabetes, hati, ginjal dan penyakit terkait (Ahmad, 2010).

2.3 Diabetes

Penderita diabetes dapat dideteksi dengan mengukur tingkat konsentrasi glukosa dalam darah. Tabel 2.1 menjadi landasan untuk menentukan indikator kadar gula dalam darah berdasarkan Perkumpulan Endokrinologi Indonesia (PERKENI) yang merupakan perkumpulan dokter-dokter Indonesia yang menekuni bidang endokrin termasuk gula darah dan diabetes.

Tabel 2.1 Indikator Kadar Gula dalam Darah

Pemeriksaan	Kadar Normal	Kadar Terbaik
Gula darah sewaktu (GDS)	< 200 mg/dL	< 200 mg/dL
Gula darah puasa (GDP)	80 - 125 mg/dL	80 - 110 mg/dL
Gula darah 2 jam setelah makan (GDPP)	110 - 180 mg/dL	110 - 145 mg/dL

Sumber: Perkeni, 2015

Ada banyak metode yang berbeda untuk estimasi tingkat glukosa dan *glycated* hemoglobin. Namun, hasil yang didapatkan dapat tidak sesuai peningkatan atau penurunannya bergantung pada kadar hemoglobin dan juga metode pengujiannya (Perkeni, 2015).

Sifat-sifat optis dari darah dan hemoglobin pada konsentrasi glukosa berubah dalam level fisiologis sangat penting untuk diagnosa dan monitoring diabetes. Perubahan dari sifat optik dalam darah dan hemoglobin dengan keberadaan glukosa disebabkan oleh pengaruh transport sinar pada darah dan ikatan glukosa dengan protein darah. Ini menunjukkan bahwa indeks bias dari hemoglobin pada sel darah merah berbeda pada keadaan normal dan peningkatan konsentrasi glukosa yang disebabkan oleh ikatan dengan hemoglobin (Robinson *et al*, 2017).

2.4 Hemoglobin

Pada sel darah merah dengan molekul-molekul protein yang menyertainya disebut sebagai Hemoglobin. Hemoglobin ini memiliki tugas untuk tempat perpindahan oksigen dari paru-paru menuju ke jaringan tubuh dan sebaliknya, mengangkut karbondioksida dari jaringan tubuh menuju paru-paru. Hemoglobin dibentuk dalam sumsum tulang dan merupakan suatu bahan yang sangat penting dalam eritrosit. Hemoglobin ini dibentuk dari heme dan globin. Heme itu sendiri adalah satu turunan porfirin yang mengandung besi dan kandungan zat besi yang terdapat dalam hemoglobin membuat darah berwarna merah (Hoofbrand, 2002).

Sejatinya ada dari hemoglobin yang sangat kecil atau minor yang bertalian pada glukosa, yang biasa disebut sebagai HbA1c, namun bisa juga disebut hemoglobin A1c. HbA1c disebut sebagai glikosilasi atau *glycohemoglobin* (Airin Que, 2013). Pengukuran HbA1c adalah standar pengukuran yang digunakan diseluruh dunia sebagai alat diagnosis diabetes dan memonitor kadar gula darah tinggi yang kronis (Soebagijo, 2019)

2.5 Anodic Aluminum

Anodizing merupakan sebuah teknik penyepuhan logam yang didasarkan atas pembentukan lapisan oksida aluminum melalui control oksidasi sehingga terbentuk pori yang akan diisi oleh lapisan logam lain (Presto, 2003). Proses yang mashur dalam membuat pori pada meterial almunium salah satunya adalah dengan oksidasi anodik (AAO). AAO adalah bentuk oksida alminium yang tersusun sendiri yang memiliki struktur seperti sarang lebah yang dibentuk oleh susunan kepadatan tinggi dari pori-pori seragam dan parallel. AAO berpori dibentuk oleh oksidasi elektrokimia (anodisasi) aluminum dalam elektrolit asam dalam kondisi yang menyeimbangkan pertumbuhan dan film AAO terbentuk dengan ketebalan terbatas (Tsyntsar, 2016).

Secara umum teknik *anodizing* dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu Regular dan hard anodizing. Teknik ini dibedakan atas dasar kuat atau lemahnya proses pembentukan oksida logam melalui pengontrolan. Regular

anodizing biasanya digunakan untuk melapisi aluminium sehingga hasil yang diperoleh menjadi lebih dekoratif. Teknik hard *anodizing* digunakan untuk membuat lapisan oksida yang lebih tebal sehingga aluminium memiliki tingkat ketahanan korosi yang kuat. Pemilihan teknik *anodizing* sangat bergantung pada keperluan pembuatan material. Jika yang diperlukan adalah aluminium yang memiliki nilai estetika maka cukup digunakan teknik *anodizing* jenis *regular anodizing* (Kusuma, 2016).

2.6 Zinc Oxide

Senyawa ini, lazimnya tak dapat terlarut dengan air, meskipun wujud zat ini memiliki corak putih layaknya bubuk atau serbuk. Dalam industri, ZnO biasa juga digunakan untuk zat aditif bermacam-macam produk, seperti bahan baku untuk keramik dan kaca, namun juga dipakai untuk bahan dasar untuk plastik dan karet mobil (Hernandezbattez et al, 2008). Bukan tanpa alasan bahan ini digunakan untuk industri, melainkan karena harganya yang relatif murah serta kelimpahan keberadaannya. Alasan lain, struktur kimia dari ZnO ini cenderung stabil dalam beberapa keadaan, ditambah tidak beracun. Kebanyakan doping material digunakan dengan ZnO juga tersedia (Ran, 2015).

ZnO adalah salah satu semikonduktor yang telah luas diteliti. Material ini memiliki energi celah pita (direct band gap) yang lebar sebesar 3,37 eV. ZnO memiliki emisi ultra-violet (UV) yang kuat dikarenakan besarnya energi ikatan eksiton sebesar 60 meV pada temperatur ruang (Service, 1997). Laporan dari Badan yang menangani masalah pangan Amerika atau FDA menyebutkan bahwa ZnO ini senyawa kimia dengan kandungan yang aman secara umum. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa nanopartikel seng oksida mempunyai aktivitas anti-mikroba : sebagai antibakteri *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* (Romadhan et al., 2016).

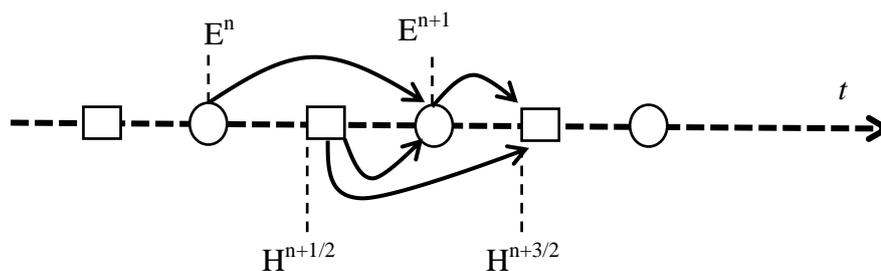
2.7 Finite Difference Time Domain

Finite Difference Time Domain (FDTD) simulation adalah penyelesaian Maxwell 3 dimensi, yang mampu menganalisis interaksi radiasi UV, sinar tampak, *Infrared* (IR) berdasarkan panjang gelombang yang tersedia. FDTD telah diidentifikasi sebagai metode untuk melakukan simulasi elektromagnetik untuk sel fotoelektrokimia. Dalam pekerjaan ini, untuk mengidentifikasi pemanfaatan cahaya pada susunan struktur nano yang disiapkan, FDTD diaplikasikan untuk mensimulasikan distribusi medan elektromagnetik dan penyerapan foto dari sampel (Sullivan, 2000).

Metode FDTD pertama kali diperkenalkan oleh Yee pada tahun 1965 yang memanfaatkan diskretisasi waktu dan ruang pada algoritma waktu dengan solusi medan magnet dan medan listrik dari persamaan Maxwell. Metode FDTD memperbarui nilai medan listrik dan medan magnet secara bergantian pada setiap waktu sehingga dalam metode ini muncul istilah *time step*, *grid* dan *update formula* (Taflove, 2005). Medan listrik dan medan magnet berada pada setiap grid dan harus selalu diperbarui sesuai dengan waktu / *timestep* yang diberikan. Kelemahan dari metode FDTD ini adalah membutuhkan banyak memori untuk melakukan perhitungan. Selain itu, pada objek yang banyak memiliki kurva nilai yang dihasilkan tidak bisa menjadi akurat tanpa perlakuan khusus (Shabrina, 2015).

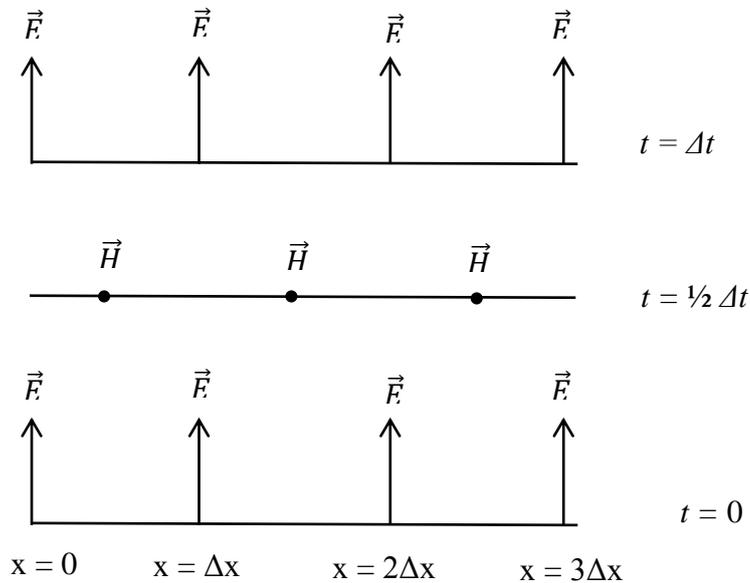
2.8 Algoritma Yee

Algoritma Yee adalah sebuah algoritma yang *leapfrog* antara nilai medan listrik (E) dan medan magnet (H).

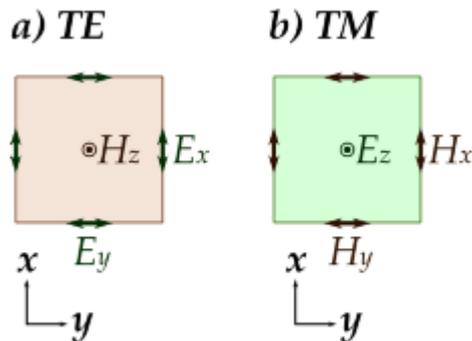


Gambar 2.1 Ilustrasi leapfrog pada algoritma Yee (Taflove, 2000)

Kita definisikan Δx dan Δy sebagai step spasial pada arah x dan y. Pada grid Yee, nilai medan listrik dan medan magnet memiliki selisih separuh dari waktu (lihat Gambar 2.1).



Gambar 2.2 Ilustrasi kisi medan listrik (E) dan medan magnet (H) (Taflove, 2005)



Gambar 2.3 Arah medan elektromagnetik pada kisi FDTD (Taflove, 2005).

Menurut Taflove (2005), Algoritma Yee 2 dimensi memiliki nilai medan Listrik (E) dan Medan Magnet (H) yang tidak bertumpuk berarti komponen dari medan (baik E_x dan E_y) tidak didefinisikan pada posisi yang sama. Dimana komponen medan didefinisikan pada index seperti pada Tabel 2.2 dan diilustrasikan pada Gambar 2.3. dari fungsi ruang pada simulasi kemudian

membentuk kisi-kisi Yee yang berulang. Jika dianalogikan pada kasus satu dimensi, nilai medan bergantung pada nilai sebelumnya.

Tabel 2.2 Komponen medan dalam indeks

TM	x	y	t
B_x	i	$j+1/2$	$n+1/2$
B_y	$i+1/2$	j	$n+1/2$
E_z	i	j	n

TE	x	y	t
E_x	i	$j+1/2$	n
E_y	$i+1/2$	j	n
H_z	i	j	$n+1/2$

(Sumber: Taflove, 2005)

2.9 Indeks Bias

Parameter penting optik salah satunya adalah indeks bias (n), dimana parameter ini memiliki karakter dari sifat fotokimia. Secara umum, indeks bias merupakan hasil vektor kecepatan cahaya dari panjang gelombang pada ruang hampa dengan simbol c terhadap vektor kecepatan pada suatu bahan tertentu (v). Sehingga secara matematis didefinisikan sebagai $n = c/v$. Hasil bagi dari kedua besaran vektor tersebut memberikan gambaran bahwa indeks bias ini memiliki makna fisis sebagai besaran skalar, dikarenakan hanya bergantung pada karakter gelombang datangnya Material yang lebih padat umumnya cenderung memiliki indeks bias yang lebih besar (Hadi, 2018).

Dalam penelitiannya (Lazareva, 2018) menentukan indeks bias dari larutan hemoglobin dapat dikalkulasi dari persamaan:

$$n_{Hb+H_2O} = n_{H_2O}V_{H_2O} + n_{Hb}V_{Hb} \quad (2.10)$$

Sehingga

$$n_{Hb} = \frac{n_{Hb+H_2O} - n_{H_2O} V_{H_2O}}{V_{Hb}} \quad (2.11)$$

dengan:

n_{Hb} adalah indeks refraksi dari larutan hemoglobin

V_{H_2O} dan V_{Hb} adalah volume air dan volume hemoglobin

n_{Hb+H_2O} adalah indeks refraksi larutan hemoglobin dalam sampel

n_{H_2O} adalah indeks refraksi dari air

Indeks refraksi dari larutan glukosa n_{gl} dapat ditemukan dalam persamaan:

$$n_{gl} = n_{H_2O} + 0.1515 \cdot C_{gl} \quad (2.12)$$

dimana C_{gl} adalah konsentrasi glukosa dalam larutan (g/ml)

2.10 Absorbansi

Jika cahaya mengenai permukaan sebuah benda, maka akan ada yang diteruskan dan ada yang dipantulkan. Pada benda transparan seperti air atau kaca, maka cahaya yang diteruskan akan dibelokkan, atau disebut dengan pembiasan. Cahaya yang melewati batas antar dua medium dengan kerapatan optik yang berbeda maka kecepatannya akan berubah. Perubahan kecepatan cahaya dalam batas medium ini menyebabkan cahaya mengalami pembiasan.

Menurut (Griffiths, 1981) jenis polarisasi dengan medan listrik E tegak lurus bidang datang dan medan magnet B sejajar bidang datang disebut transverse electric (TE). Sedangkan apabila medan listrik E sejajar bidang datang maka jenis polarisasi ini disebut transverse magnetic (TM).

$$A = \log \frac{I_t}{I_0} \quad (2.13)$$

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan Juli 2020 sampai Desember 2020 di Laboratorium Fisika Medis dan Biofisika Departemen Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penelitian dilakukan diantaranya dengan melakukan studi literatur, Perhitungan persamaan *Finite Difference Time Domain*, Pembuatan model dan pengambilan data. Keseluruhan rangkaian penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika Medis dan Biofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya menggunakan komputer Windows 10, Software Comsol Multiphysics 5.4 dan OriginLab 2015.

3.2 Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Komputer Laboratorium Fisika Medis dan Biofisika RAM 12 GB
- Software Comsol Multiphysics versi 5.4
- Software Origin 2015

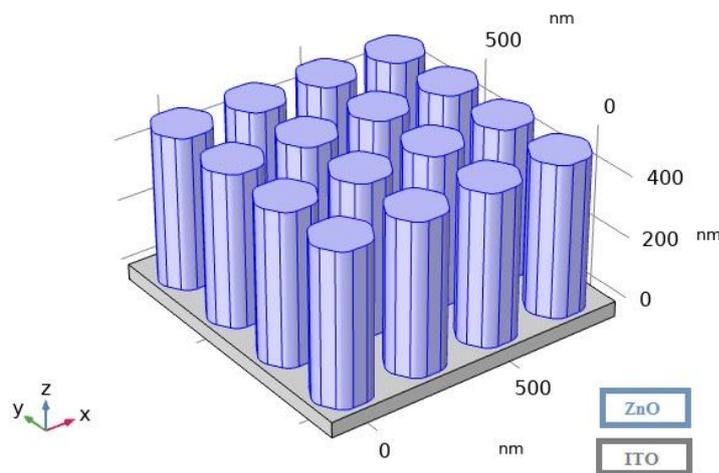
3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Inisiasi Model

Model yang digunakan adalah nanostruktur ZnO yang dibuat menggunakan template AAO dengan substrat kaca ITO. Model disimulasikan berada pada medium darah dengan variasi konsentrasi glukosa rendah, normal, dan kadar glukosa tinggi. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah ZnO dengan nanostruktur dibentuk mengikuti template AAO sehingga jika tampak atas, terlihat seperti hexagonal yang sudah diperlebar sudutnya.

3.3.2 Analisis Komputasi

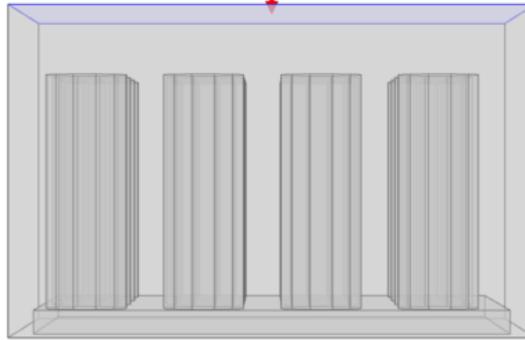
Pada Analisis komputasi, variasi yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah panjang gelombang, jarak antar nanostruktur, dan medium yang digunakan. Terdapat tiga variasi medium yakni hiperglikemia, darah normal, dan hipoglikemia. Ketiga medium memiliki nilai parameter indeks bias yang berbeda. Setelah dilakukan Analisis, jarak antar nanostruktur di variasi pada jarak 100 nm dan 250 nm. Untuk nilai absorbansi, data yang didapat setelah komputasi dibandingkan dengan perhitungan yang ada. Model diinisiasi dengan membuat bentuk seperti Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Model komputasi material ZnO diatas substrat ITO

Gambar 3.1 merupakan gambar model nanostruktur ZnO yang disimulasikan dengan menggunakan Comsol Multiphysics. Geometri nanostruktur mempunyai ukuran 150x150x500 nm dengan medium yang digunakan mempunyai ukuran luasan 1x1 mikron dan tinggi 700 nm.

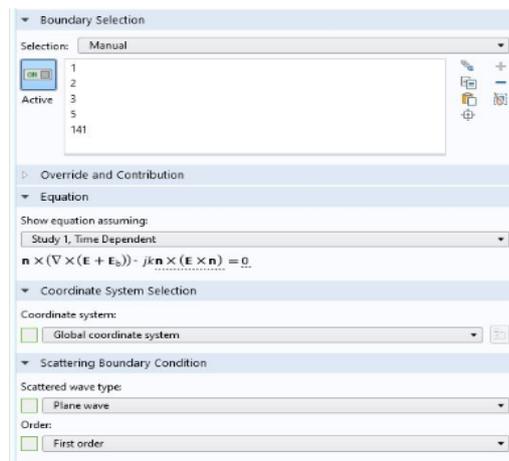
Electromagnetic Field



Gambar 3. 2 Arah distribusi gelombang elektromagnetik dari sumber

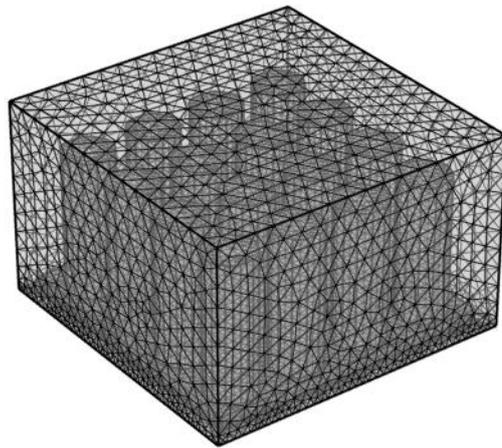
Pada gambar 3.2 ditunjukkan arah rambat gelombang elektromagnetik dari sumber yang diberikan. Gelombang elektromagnetik pada penelitian ini menggunakan gelombang planar dengan perbedaan panjang gelombang. Parameter panjang gelombang yang diberikan berada pada rentang 300-750 nm yang kemudian memberikan perbedaan frekuensi berdasarkan hubungan bahwa frekuensi merupakan hasil pembagian antara kecepatan rambat cahaya dalam ruang hampa dibagi panjang gelombang. Distribusi medan listrik menggunakan persamaan FDTD dengan persamaan:

$$\tilde{E}_x^{n+\frac{1}{2}}(k) = \tilde{E}_x^{n-\frac{1}{2}}(k) - \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0}} \frac{\Delta t}{\Delta z} [H_y^n(k + 1/2) - H_y^n(k - 1/2)]$$



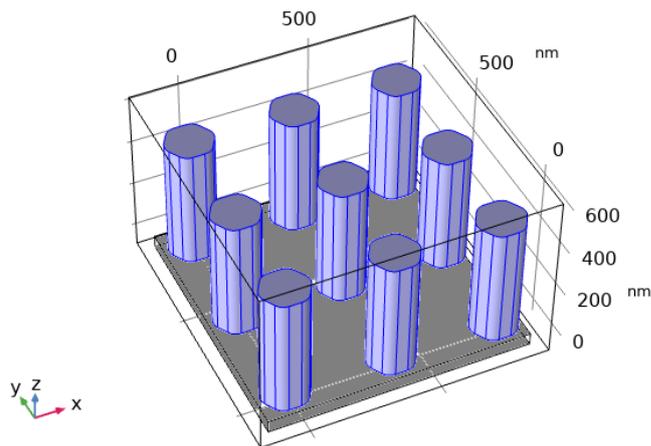
Gambar 3.3 *Setting Boundary Condition*

Boundary condition dilakukan dengan memberikan nilai medan listrik = 0 pada setiap sisi medium yang digunakan. Hal ini dilakukan untuk memberikan informasi pola distribusi yang lebih baik pada layer nanostruktur ZnO yang diteliti.



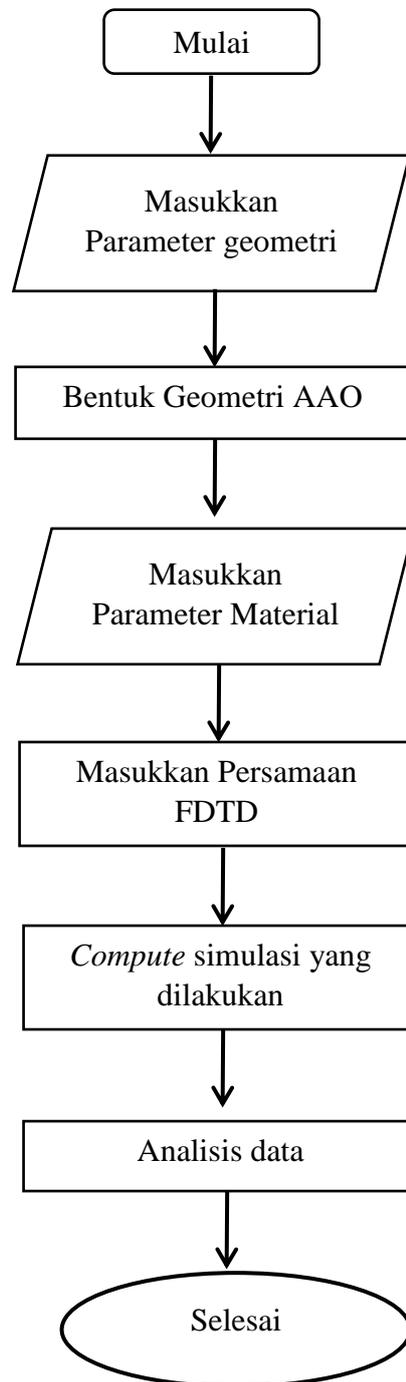
Gambar 3. 4 Mesh model dengan *physics controlled mesh*

Setelah didapatkan nilai distribusi medan listrik dan dianalisis, kemudian jarak antar nanostruktur divariasikan dengan jarak 250 nm seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.4 dan hasil yang didapatkan dianalisis sehingga dapat memberikan hasil pengaruh perbedaan kerapatan pada penelitian ini.



Gambar 3. 3 Model nanostruktur dengan variasi jarak antar nanostruktur 250 nm

3.4 Diagram Alir

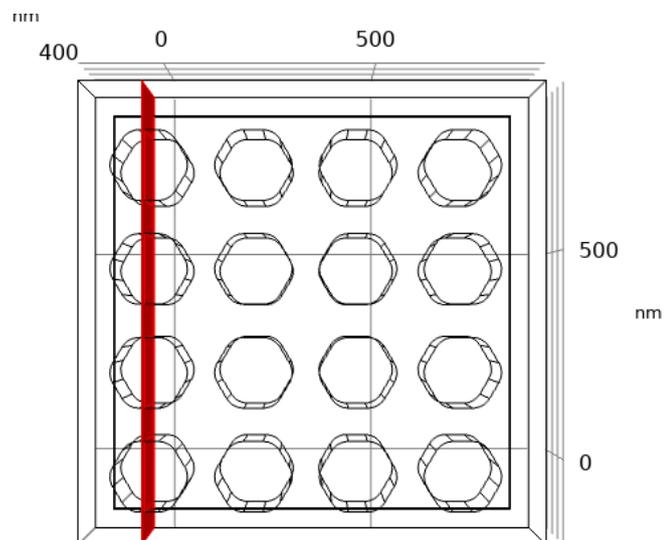


Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian

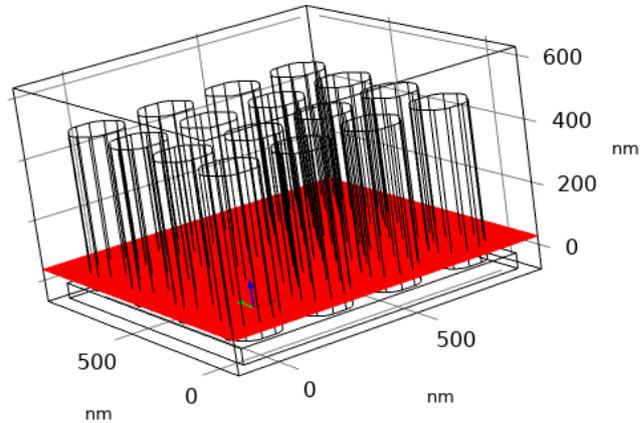
3.5 Analisis Data

3.5.1 Pengukuran nilai Medan Listrik Maksimum

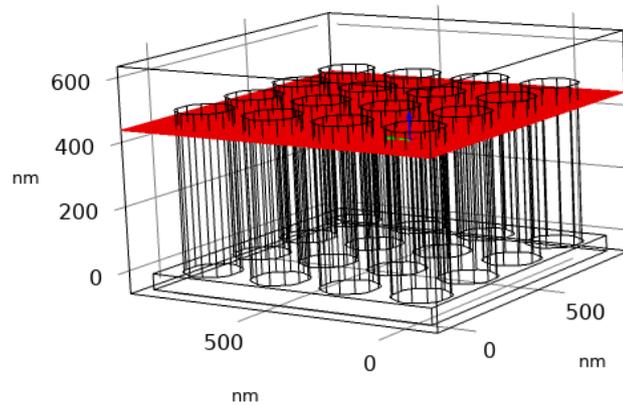
Pengukuran medan listrik maksimum yang tersebar digunakan untuk mendeteksi panjang gelombang optimal dengan variasi panjang gelombang pada variasi medium yang digunakan. Dilakukan tiga irisan berdasarkan bidang XY dan YZ. Dimana pada irisan bidang YZ diamati untuk mendeteksi distribusi medan listrik tampak samping dan pada bidang XY dilakukan untuk mengamati distribusi medan listrik tampak atas dengan kedalaman yang berbeda.



Gambar 3. 5 Irisan bidang (-50)-YZ tampak samping untuk Analisis distribusi medan listrik



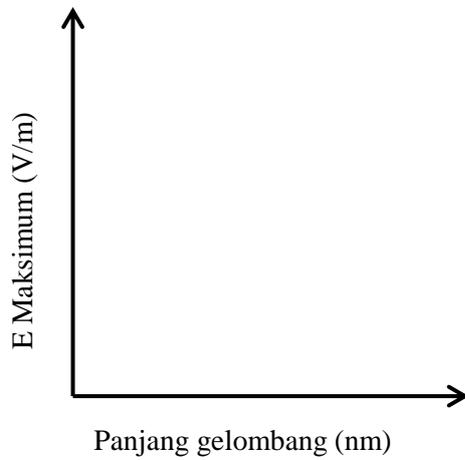
Gambar 3. 6 Irisan bidang XY pada kedalaman 450 nm



Gambar 3. 7 Irisan bidang XY pada kedalaman 50 nm

3.4.2 Grafik distribusi medan listrik maksimum

Grafik distribusi medan listrik maksimum digunakan untuk mengamati nilai sebaran medan listrik maksimum pada variasi medium. Perubahan nilai medan listrik maksimum diamati untuk menentukan panjang gelombang optimal agar gelombang elektromagnetik bisa melakukan penetrasi hingga ke nanostruktur bagian dalam.

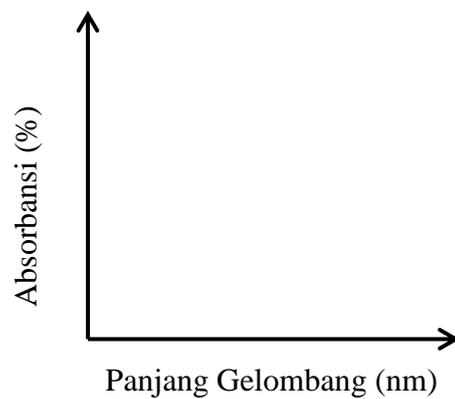


Gambar 3. 8 Grafik medan listrik maksimum

3.5.2 Absorbansi

Absorbansi merupakan salah satu karakteristik fisika yang bisa menunjukkan sifat sebuah material. Absorbansi dirumuskan sebagai berikut:

$$A = \log \frac{I_0}{I_t} \quad (3.1)$$



Gambar 3. 9 Absorbansi sebagai fungsi panjang gelombang

Pengukuran Absorbansi dilakukan pada medium yang divariasi yakni pada medium hipoglikemia, darah normal dan medium hiperglikemia. Dilakukan pengukuran absorbansi melalui perhitungan dan juga komputasi menggunakan Software Comsol. Kemudian kedua data dibandingkan pada grafik yang sama.

Pada perhitungan, nilai absorbansi dihitung memanfaatkan besaran poynting vector yang merupakan energi per satuan luas yang juga merupakan nilai intensitas. Sehingga menggunakan persamaan :

$$S = \frac{1}{\mu_0} (E \times H) = \frac{E^2}{2\mu_0 c} \quad (3.2)$$

$$A = \log \frac{I_0}{S} = \log \frac{I_0}{\frac{E^2}{2\mu_0 c}} = \log \frac{I_0 2\mu_0 c}{E^2} \quad (3.3)$$

Dimana S adalah poynting vector (W/m^2)

I_0 adalah intensitas awal (W/m^2)

E adalah medan listrik

μ_0 adalah permeabilitas didalam vakum

c adalah kecepatan cahaya

A adalah absorbansi

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan penelitian komputasi dengan simulasi pemodelan FDTD dengan memberikan penyinaran gelombang elektromagnetik terhadap nanostruktur ZnO yang dikonstruksi menggunakan template AAO. Dari penelitian ini diharapkan dapat menentukan nilai panjang gelombang sumber yang menghasilkan distribusi medan listrik optimal pada model komputasi untuk digunakan sebagai sistem pendeteksi glukosa darah. Nanostruktur ZnO dimodelkan menggunakan template AAO dengan dimensi ukuran nanostruktur sebesar 150x150x500 nm. Pemodelan dilakukan dengan mengambil luasan 1x1 mikron dimana substrat yang digunakan pada penelitian menggunakan *Indium Tin Oxide (ITO)*. Jarak antar nanostruktur divariasikan masing-masing dengan jarak 100 nm dan 250 nm untuk mengetahui jarak optimal pada pola distribusi medan elektromagnetik pada model.

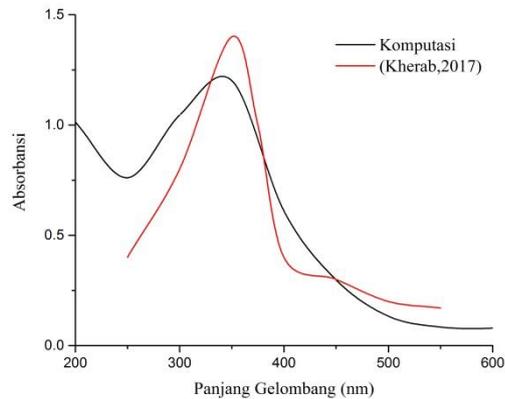
Dengan kombinasi jarak, maka jumlah nanostruktur dalam model berbeda-beda. Pada jarak 250 nm, nanostruktur memiliki jumlah array 3x3 dan pada jarak 100 nm nanostruktur ZnO memiliki array 4x4. Medium pada penelitian ini dimodelkan dengan variasi tiga keadaan darah. Masing-masing adalah kondisi hipoglikemia (kadar glukosa rendah), darah normal, dan kondisi hiperglikemia (kadar glukosa tinggi). Variasi medium digunakan untuk menentukan panjang gelombang optimal dari sumber berdasarkan perbedaan nilai distribusi medan listrik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Lazareva (2000), didapatkan nilai indeks bias yang dipengaruhi oleh konsentrasi glukosa didalam darah.

Berdasarkan penelitian Lazareva indeks bias masing-masing yang digunakan dalam penelitian untuk hipoglikemia, darah normal dan hiperglikemia masing-masing adalah sebesar 1,23, 1,72, dan 2,24. Pada penelitian ini, indeks bias merupakan parameter utama dalam komputasi penentuan distribusi medan listrik. Perbedaan parameter baik di medium maupun nanostruktur diwakili oleh indeks bias masing masing material. Proses pengambilan data dilakukan dengan

mengamati irisan model nanostruktur dalam bidang XY dan YZ. Model diamati dalam 3 sisi gambar yakni tampak samping, tampak atas dengan ketinggian 50 nm dari substrat ITO dan ketinggian 450 nm dari substrat. Salah satu penelitian yang berkaitan yakni terkait topik penelitian *Surface Plasmon Resonance*, dimana interaksi antara medan listrik dengan material nanostruktur dapat menyebabkan atom didalam material beresonansi sehingga dapat menimbulkan arus listrik dari resonansi elektron bebasnya.

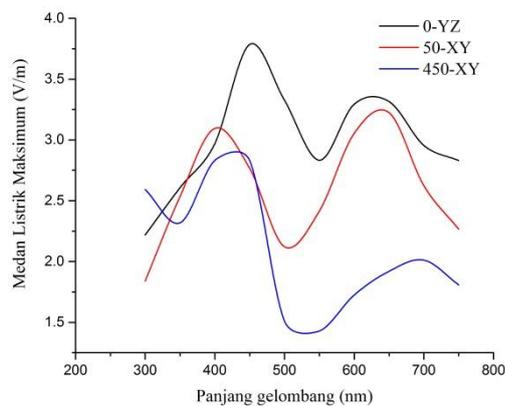
Sebelum dilakukan penelitian ini, dilakukan kalibrasi data untuk menentukan kebenaran dari komputasi yang dilakukan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Kherab *et al* (2017) tentang pengaruh ukuran nanopartikel pada parameter optik dari nanostruktur ZnO bahwa didapatkan hasil penelitian nilai absorbansi seperti dijelaskan pada Gambar 4.1 (a)

Gambar 4.1 menunjukkan nilai absorbansi pada nanomaterial ZnO dengan ukuran 100 nm. Pada gambar 4.1 (a) ditunjukkan penelitian yang dilakukan Kherab (2017), sedangkan pada gambar 4.1 (b) adalah komputasi menggunakan *software* Comsol dalam penelitian ini. Pada gambar 4.1 menunjukkan hasil penelitian memiliki pola absorbansi yang sama yakni memiliki puncak pada panjang gelombang 350 nm seperti penelitian yang dilakukan Kherab sehingga hasil kalibrasi yang didapatkan pada penelitian ini mempunyai tingkat validitas data yang baik. Kemudian dilakukan penelitian pada medium dengan tingkat konsentrasi glukosa yang berbeda serta kerapatan antar nanostruktur yang berbeda.

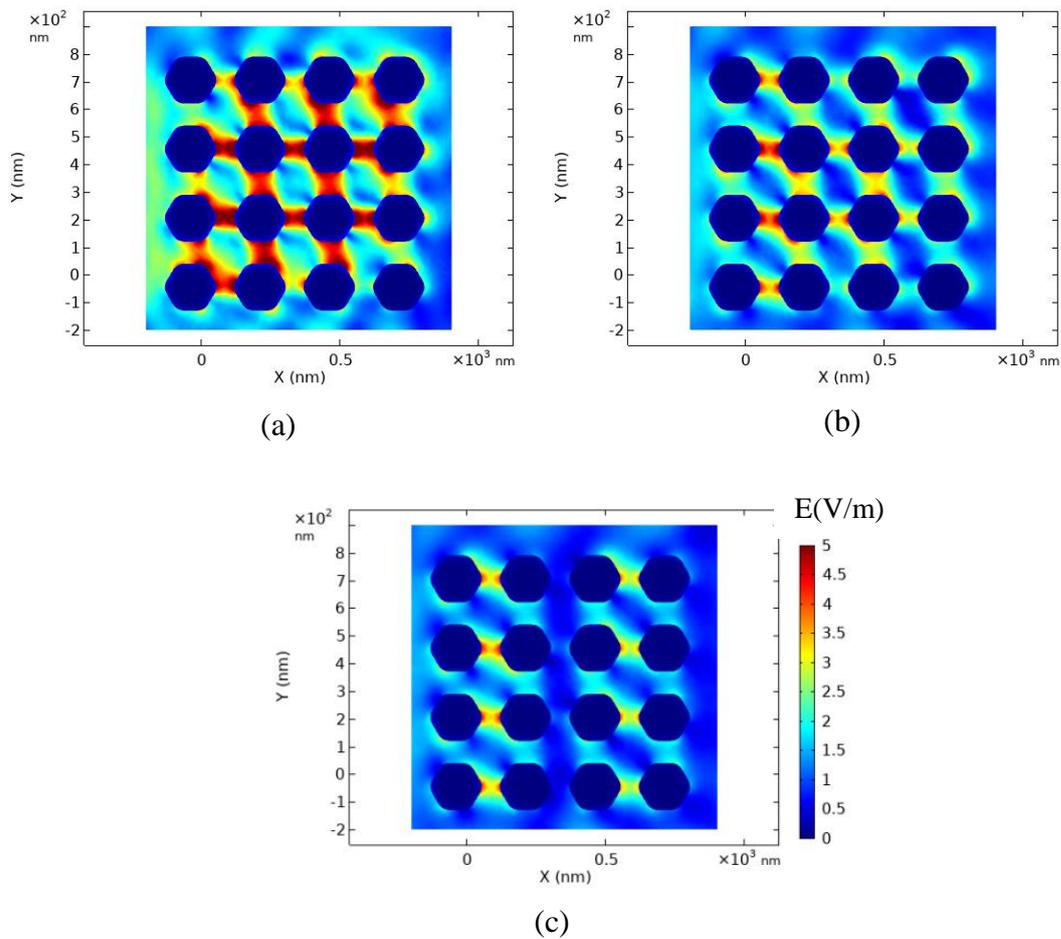


Gambar 4. 1 Perbandingan absorbansi nanostruktur ZnO berdasarkan eksperimen (Kherab *et al*;2017) dan komputasi

Gambar 4.2 menunjukkan pola distribusi medan listrik maksimum pada medium udara. Didapatkan bahwa nilai distribusi maksimal memiliki dua *peak* pada setiap penampang irisan pengambilan data. Pada irisan penampang tampak atas (bidang XY) didapatkan *peak* pada medan listrik maksimum berada pada panjang gelombang 400 nm. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Kherab (2017), bahwa pada nanostruktur ZnO nilai maksimum berada di daerah spektrum UV.



Gambar 4. 2 Distribusi medan listrik pada medium udara



Gambar 4. 3 Distribusi medan listrik pada jarak 100 nm pada medium udara dengan panjang gelombang: (a) 300 nm. (b) 350 nm dan (c) 400 nm

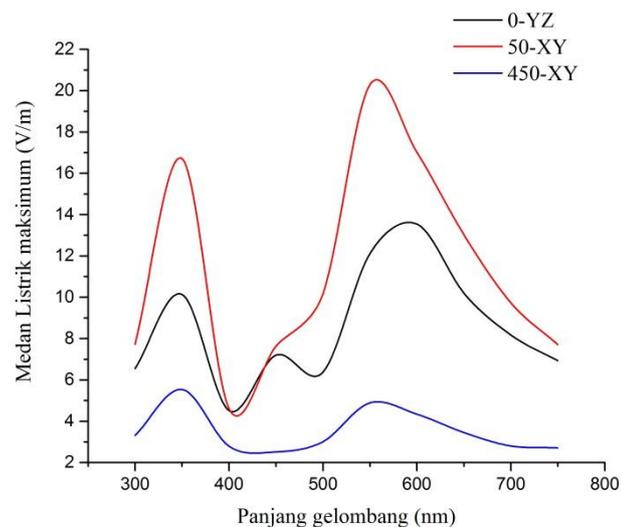
Gambar 4.3 menunjukkan pola distribusi medan listrik 50-XY (tampak atas kedalaman 50 nm). Terlihat nilai medan listrik memiliki nilai yang sangat tinggi pada pemberian panjang gelombang 300 nm. Kemudian mengalami penurunan nilai pada panjang gelombang 350 dan 400 nm. Hal ini dikarenakan karakteristik nanostruktur ZnO yang mempunyai panjang gelombang optimum di spektrum UV. Nilai kontur warna distribusi yang ditampilkan pada Gambar 4.3 sebanding dengan nilai absorbansi dan juga medan listrik maksimum pada Gambar 4.2. Penelitian menggunakan medium udara menunjukkan bahwa tingkat validitas komputasi menggunakan comsol memiliki nilai yang bagus. Sehingga bisa dilakukan penelitian lebih lanjut untuk variasi konsentrasi glukosa di dalam darah.

4.1 Hipoglikemia

Hipoglikemia merupakan kondisi kekurangan glukosa darah, dimana pasien memiliki kadar glukosa dalam darah dengan konsentrasi dibawah normal. Berdasarkan PERKENI 2000, dikatakan bahwa rentang darah hipoglikemia yang merupakan kadar glukosa sebesar 70 mg per 100 ml darah. Analisis medan listrik pada medium hipoglikemia akan dibahas pada sub bab 4.1 sampai dengan sub bab 4.4 untuk mendeteksi panjang gelombang dan jarak optimal antar nanostruktur sebagai deteksi glukosa darah.

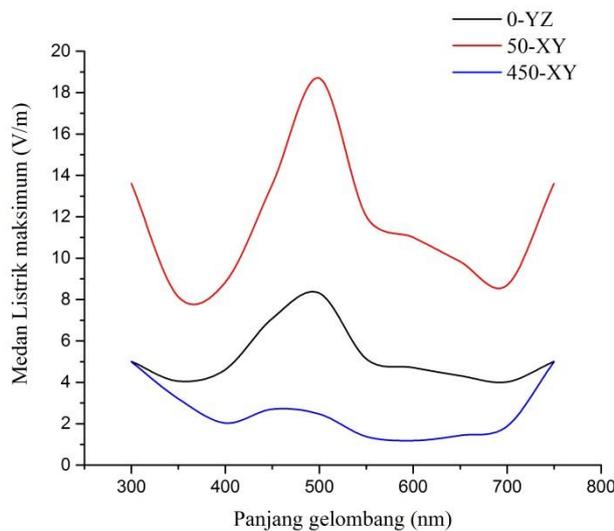
4.1.1 Medan listrik maksimum

Medan listrik maksimum adalah medan listrik yang berada pada model komputasi. Setelah gelombang elektromagnetik mengenai nanostruktur yang ada dalam model, akan terjadi peristiwa-peristiwa seperti refleksi, transmisi, dan absorpsi sehingga akan mempengaruhi pola distribusi medan listrik. Nilai medan listrik maksimum dapat dilihat pada Gambar 4.2 yang menunjukkan nilai medan listrik maksimum pada irisan tampak samping dan tampak atas dengan kedalaman yang berbeda.



Gambar 4. 4 Distribusi medan listrik maksimum sebagai fungsi panjang gelombang pada jarak antar nanostruktur sebesar 100 nm.

Gambar 4.4 menunjukkan nilai distribusi medan listrik maksimal pada variasi jarak, dimana jarak antar nanostruktur dibuat dengan kerapatan 100 nm. Panjang gelombang yang digunakan pada penelitian ini diberikan mulai dari 300 nm sampai 750 nm. Pada variasi jarak 100 nm, nilai medan listrik maksimal pada tampak samping (Bidang YZ) panjang gelombang optimal untuk distribusinya adalah 350 nm dan 600 nm. Sedangkan pada variasi kedalaman 50 nm dan 450 nm (bidang XY), nilai medan listrik maksimum berada pada saat pemberian panjang gelombang sebesar 350 dan 550 nm. Hasil ini menunjukkan bahwa *peak* medan listrik maksimum pada jarak antar nanostruktur sebesar 100 nm muncul pada saat pemberian panjang gelombang 350 nm dan 550 nm. Namun, gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 350 nm merupakan gelombang UV dan dapat menimbulkan efek pada medium yang diinteraksi sehingga berdasarkan data tersebut, nilai panjang gelombang optimal adalah sebesar 550 nm.



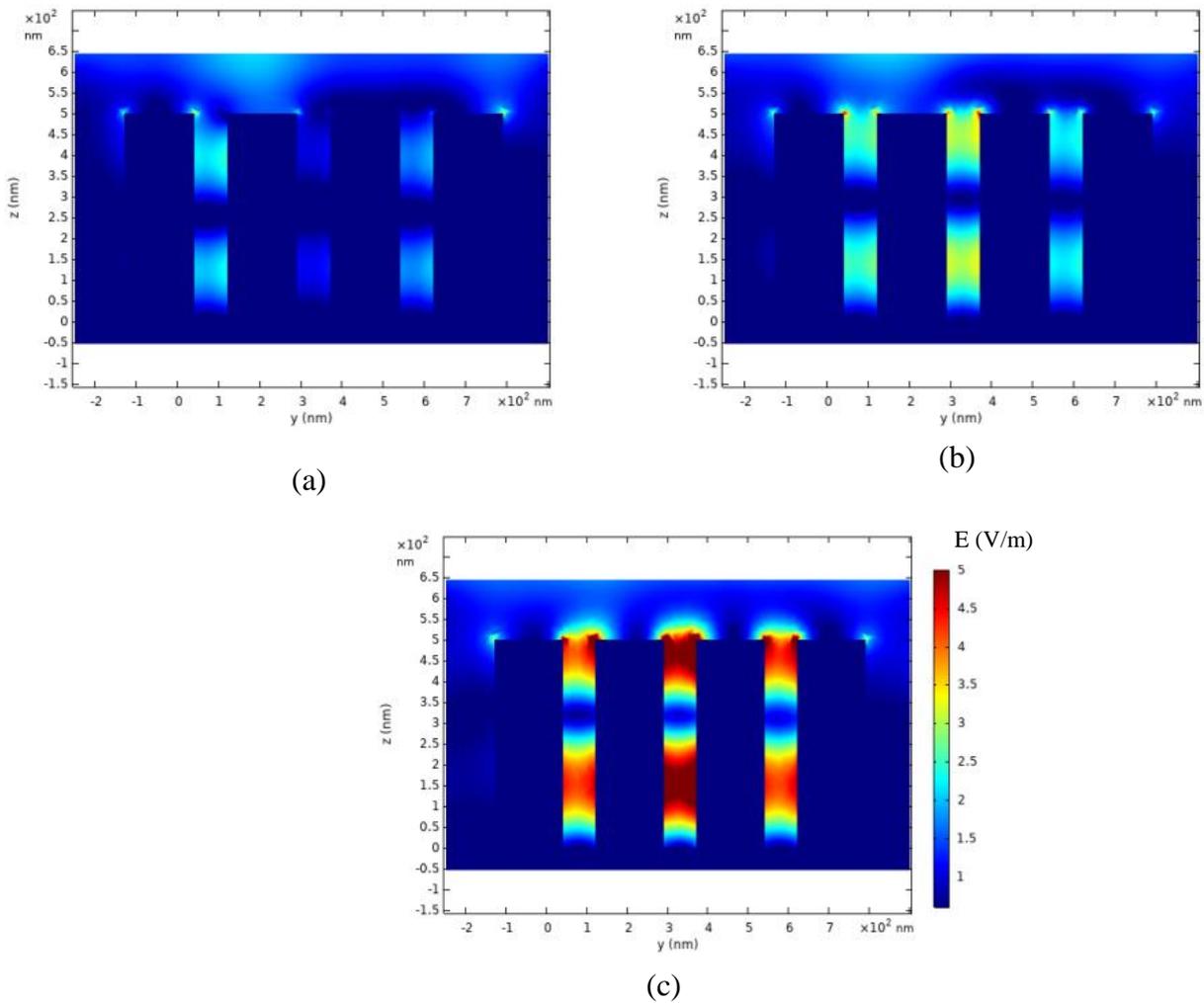
Gambar 4. 5 Distribusi medan listrik maksimum sebagai fungsi panjang gelombang pada jarak antar nanostruktur sebesar 250 nm

Pada variasi jarak antar nanostruktur 250 nm, nilai medan listrik maksimal tampak samping (bidang XY) berada pada saat pemberian gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang sebesar 500 nm. Sedangkan pada kedalaman 50 nm dan 450 nm, medan listrik maksimal berada saat pemberian gelombang elektromagnet dengan panjang gelombang masing-masing sebesar 500

nm dan 450 nm. Pada distribusi medan listrik yang ditunjukkan oleh Gambar 4.5 dapat disimpulkan bahwa gelombang elektromagnet untuk medium hipoglikemia dengan jarak antar nanostruktur 250 nm berada pada panjang gelombang 450 nm.

Berdasarkan grafik yang didapat pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa nilai medan listrik maksimal dengan variasi jarak antar nanostruktur memiliki perbedaan *peak* yang terbentuk setelah pemberian panjang gelombang yang berbeda. Besar nilai medan listrik yang terukur juga memiliki perbedaan. Untuk *peak* maksimum yang terbentuk pada jarak antar nanostruktur 100 nm, sebaran medan listrik memiliki nilai yang lebih besar. Peak yang terbentuk dengan panjang gelombang 450 nm pada jarak nanostruktur 250 nm, nilainya sebesar 2.7 V/m. Nilai ini menjadi yang terbesar pada variasi jarak ini. Sedangkan untuk jarak antar nanostruktur 100 nm, peak yang terbentuk pada panjang gelombang 550 nm didapatkan nilainya sebesar 4.88 V/m. Sehingga dapat disimpulkan bahwa distribusi medan listrik lebih optimal pada pemberian panjang gelombang 550 nm dengan variasi jarak pada medium hipoglikemia sebesar 100 nm.

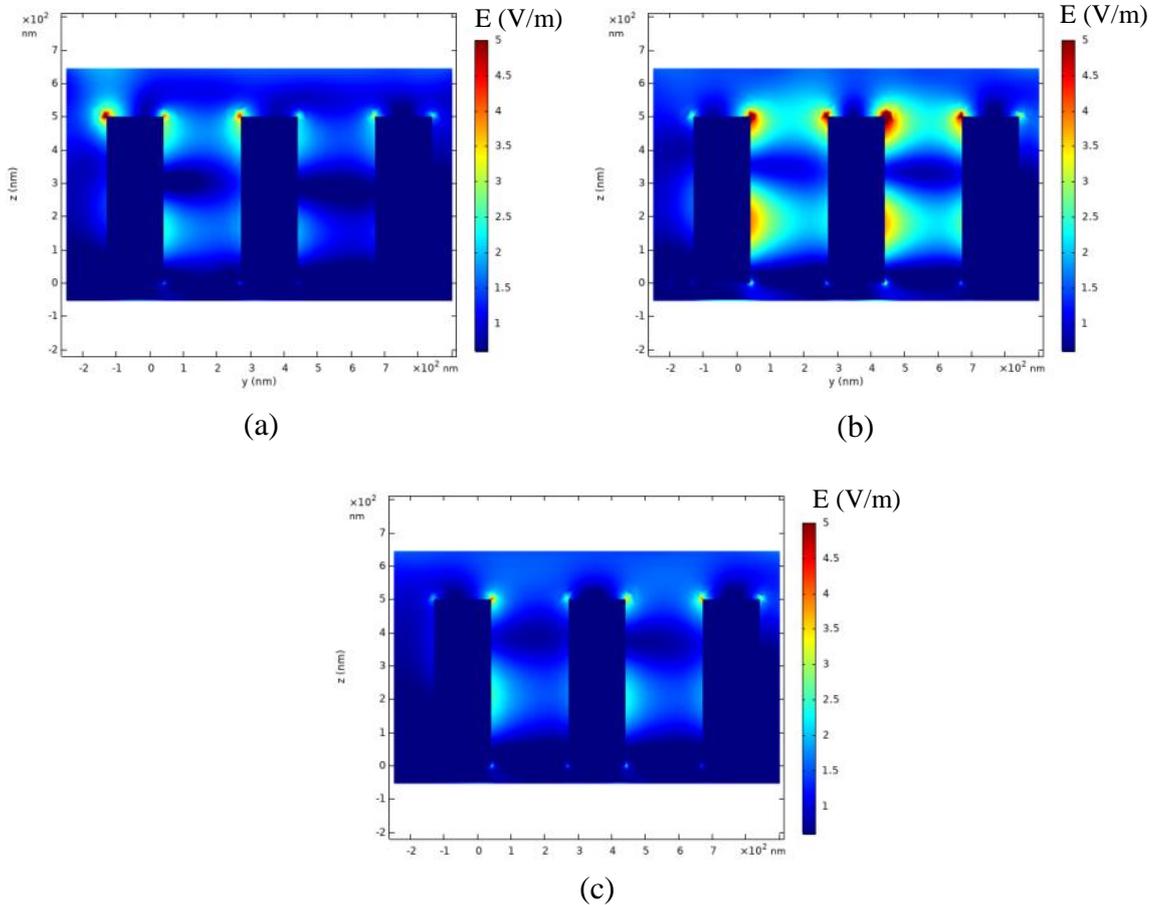
4.1.2 Distribusi Medan Listrik kontur warna



Gambar 4. 6 Distribusi medan listrik pada jarak antar nanostruktur 100 nm dengan panjang gelombang : (a) 450 nm (b) 500 nm dan (c) 550 nm.

Gambar 4.6 menunjukkan nilai distribusi medan listrik pada jarak antar nanostruktur sebesar 100 nm. Kontur berwarna biru merah menunjukkan nilai medan listrik tinggi, sedangkan kontur berwarna biru menunjukkan distribusi medan listrik bernilai rendah. Dapat dilihat pada pemberian panjang gelombang sebesar 550 nm, nilai medan listrik sangat besar hingga ke dalam bagian bawah nanostruktur. Dengan kata lain, penetrasi untuk medium hipoglikemia dengan jarak susunan antar nanostruktur sebesar 100 nm berada pada gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 550 nm. Spektrum warna dengan panjang gelombang 550 nm tergolong kedalam warna hijau dimana warna hijau

memiliki karakteristik absorbs yang bagus jika dibandingkan dengan darah yang berwarna merah.



Gambar 4. 7 Distribusi medan listrik pada jarak antar nanostruktur 250 nm dengan panjang gelombang: (a) 450 nm (b)

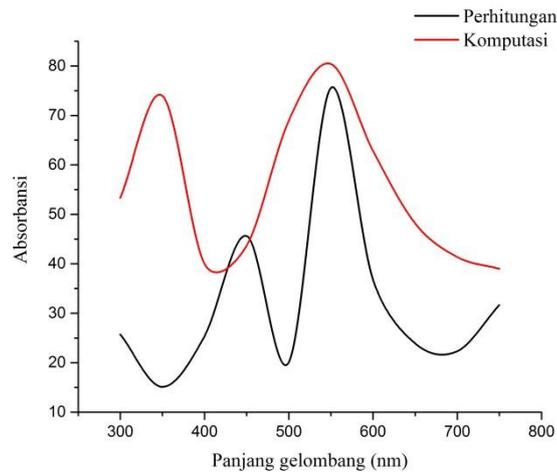
Gambar 4.7 menunjukkan nilai distribusi medan listrik pada jarak antar nanostruktur 250 nm. Sebaran kontur berwarna biru mendominasi gambar yang memiliki arti bahwa distribusi medan listriknya bernilai rendah. Pada medium hipoglikemia, sebaran terbaik pada variasi jarak 250 nm ditampilkan pada gambar (b) yakni jika diberikan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang sebesar 500 nm. Namun jika dibandingkan dengan variasi jarak antar nanostruktur sebesar 100 nm seperti yang ditampilkan oleh Gambar 4.6, distribusi medan listriknya bernilai lebih rendah dimana kontur berwarna merah sebagai representasi medan listrik yang bernilai tinggi cukup dominan muncul di Gambar 4.6 sedangkan pada Gambar 4.7 tidak terlalu banyak muncul. Hal ini dikarenakan

pengaruh *enhancement* dari material ZnO nilai medan listrik setelah gelombang mengenai nanostruktur ZnO dengan kerapatan yang lebih tinggi.

Jarak 100 nm antar nanostruktur pada medium hipoglikemia bagus sebagai pemandu gelombang sehingga gelombang bisa penetrasi ke kedalaman yang cukup tinggi. Akibat dari penetrasi ini, nanostruktur yang mendapatkan efek dari gelombang elektromagnetik menjadi lebih luas areanya. Sehingga distribusi gelombang elektromagnetik pada medium hipoglikemia akan sangat optimal jika diberikan dengan jarak antar nanostruktur 100 nm dan pemberian gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang sebesar 550 nm. Interaksi medan listrik yang tinggi terhadap nanostruktur ZnO template AAO bisa digunakan untuk penelitian lebih lanjut dengan memanfaatkan hasil yang didapat pada penelitian ini.

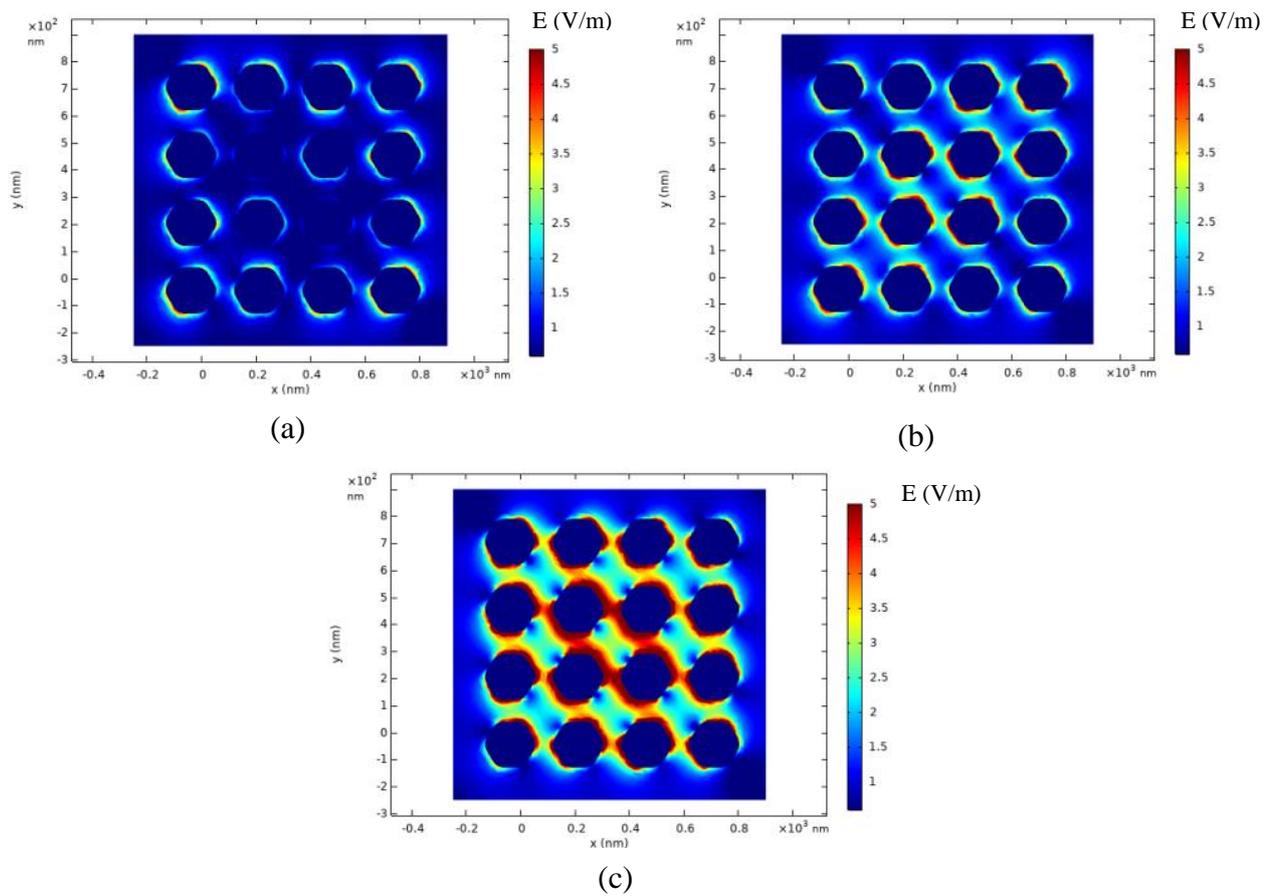
4.1.3 Absorbansi

Nilai absorbansi pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan data perhitungan dan komputasi pada software. Kedua data ini memiliki nilai *peak* yang sama yakni pada panjang gelombang sebesar 550 nm. Nilai absorbansi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua cara, dimana salah satu menggunakan pendekatan Comsol dan yang kedua dengan memasukkan persamaan kedalam komputasi Comsol.



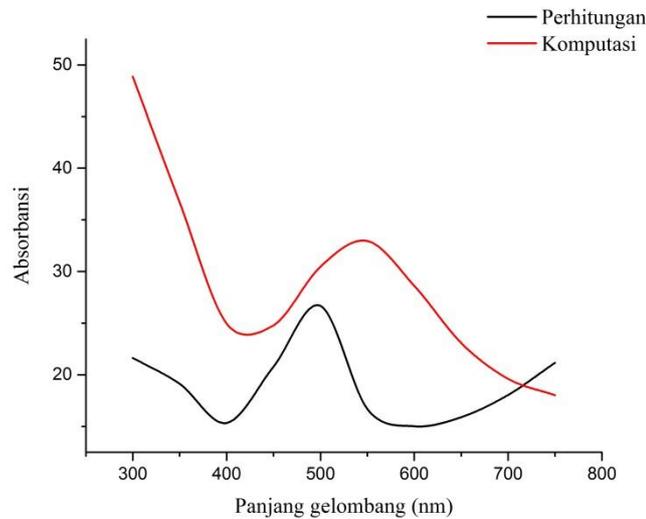
Gambar 4. 8 Nilai absorbansi sebagai fungsi gelombang dengan jarak 100 nm pada medium hipoglikemia

Grafik 4.8 menunjukkan pola absorbansi menggunakan dua pendekatan yang berbeda yakni pendekatan simulasi Comsol yang ditampilkan oleh garis berwarna merah dan pendekatan menggunakan persamaan menggunakan garis berwarna hitam. Kedua garis memiliki persamaan yang memiliki dua puncak pada pemberian panjang gelombang antara 300 sampai 750 nm. Diantara puncak yang muncul, nilai absorbansi maksimum berada pada pemberian panjang gelombang sebesar 550 nm dan jarak antar nanostruktur sebesar 100 nm. Hal ini sebanding dengan sebaran distribusi medan listrik pada kedalaman 450 nm seperti yang ditampilkan pada gambar 4.9.



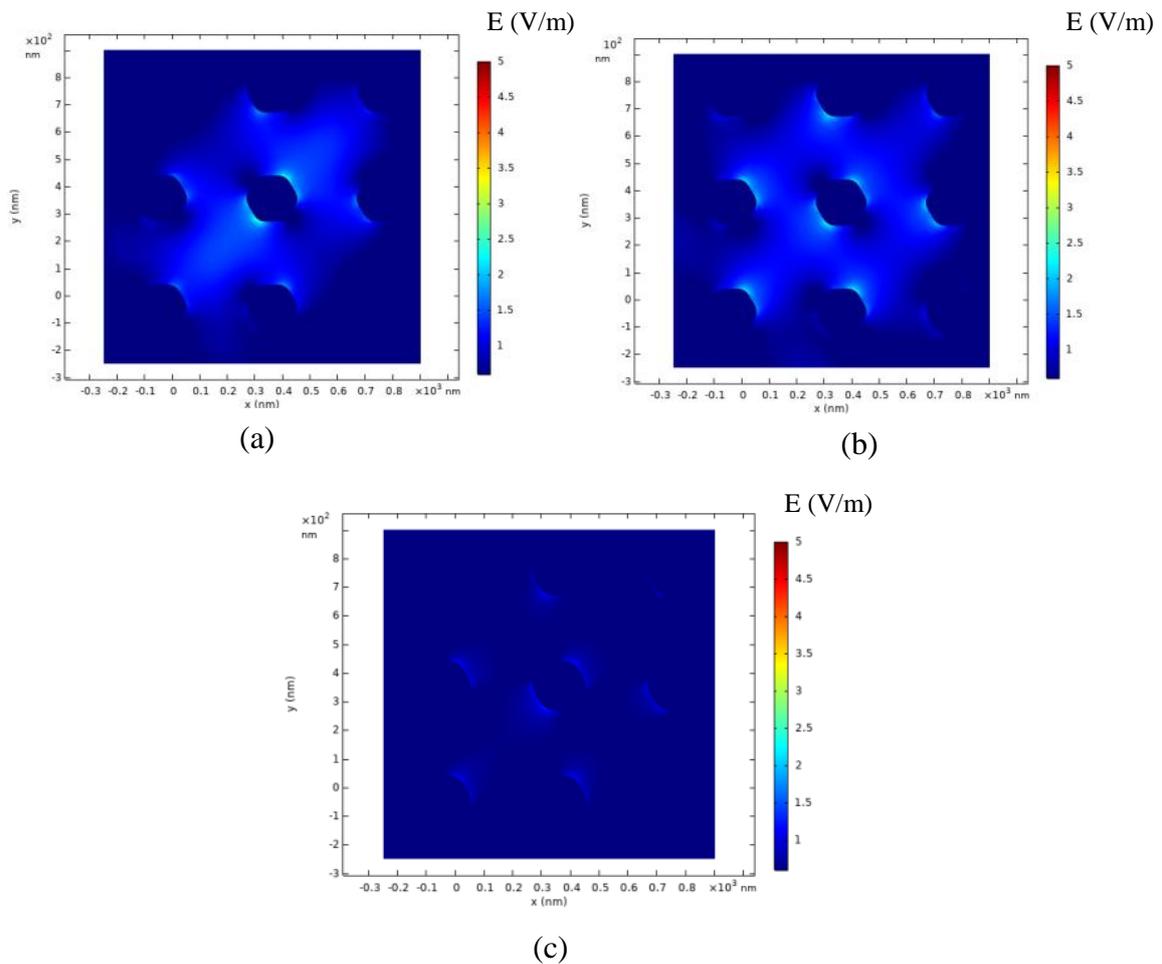
Gambar 4. 9 Distribusi medan listrik tampak atas pada kedalaman 450 nm dengan panjang gelombang : (a) 450 nm (b) 500 nm dan (c) 550 nm

Berdasarkan Gambar 4.9, dapat kita lihat bahwa dengan panjang gelombang sebesar 550 nm, distribusi medan listrik menunjukkan nilai yang tinggi dengan diwakili oleh kontur berwarna merah yang tersebar diantara nanostruktur ZnO. Hal ini menunjukkan bahwa permukaan nanostruktur menerima medan listrik dalam jumlah yang cukup besar.



Gambar 4. 10 Nilai absorbansi sebagai fungsi gelombang pada jarak 250 nm medium hipoglikemia

Grafik 4.10 menunjukkan nilai absorbansi pada variasi jarak antar nanostruktur sebesar 250 nm pada medium hipoglikemia. Ditemukan nilai absorbansi yang lebih rendah daripada pada jarak antar nanostruktur ketika dibuat sebesar 100 nm pada nilai perhitungan. Namun pada pendekatan nilai absorbansi menggunakan simulasi Comsol nilai yang didapat sangat besar dan memiliki anomali puncaknya pada pemberian panjang gelombang 550. Terdapat ketidaksesuaian antara nilai absorbansi yang dilakukan berdasarkan perhitungan dan juga simulasi comsol. Pendekatan menggunakan perhitungan memiliki nilai yang lebih akurat karena sebanding dengan distribusi medan listrik pada kedalaman 450 nm yang ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Distribusi medan listrik pada kedalaman 450 nm dengan panjang gelombang sebesar (a) 450, (b) 500 dan (c) 550

Distribusi yang diterima oleh nanostruktur ZnO dengan jarak antar nanostruktur 250 nm, memiliki penetrasi paling dalam pada saat panjang gelombang gelombang elektromagnetik sebesar 500 nm. Meskipun kontur warna didominasi warna biru dan tidak berwarna merah, pada jarak antar nanostruktur sebesar 250 nm nilai maksimum dari medan listrik di kedalaman 450 nm terdapat pada pemberian panjang gelombang 500 nm seperti yang ditampilkan Gambar 4.11 Hal ini ditunjukkan dengan nilai absorbansi pada Gambar 4.10 dimana puncak absorbansi berdasarkan perhitungan berada pada panjang gelombang 500 nm. Namun secara simulasi, nilai absorbansi maksimum terdapat pada pemberian panjang gelombang 550 nm. Pada kasus ini, didapatkan anomali perhitungan menggunakan simulasi Comsol. Selain nilai puncak absorbansi yang tidak sesuai

dengan teori, juga ditemukan anomali pada nilai medan listrik yang tinggi pada variasi jarak antar nanostruktur sebesar 250 nm dimana seharusnya nilainya lebih rendah daripada ketika dibuat jarak antar nanostruktur 100 nm. Hal ini dikarenakan parameter jarak dan karakteristik medium hipoglikemia yang membuat distribusi medan listrik tidak bisa sempurna. Sedangkan, pada pendekatan persamaan memanfaatkan *poyniting vector* didapatkan nilai absorptansi yang ada pada Gambar 4.10 sesuai dengan Gambar 4.11 yang menunjukkan pola distribusi yang baik pada kedalaman 500 nm.

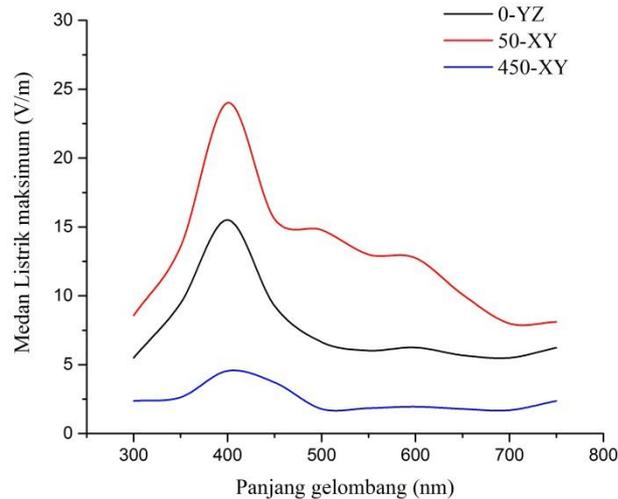
Pada nanostruktur dengan jarak 100 nm, didapatkan distribusi gelombang elektromagnetik optimal berada pada panjang gelombang 550 nm, hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.9 (c). Pola distribusi medan listrik dapat terakumulasi secara maksimal sampai bagian bawah nanostruktur mendekati substrat ITO. Sedangkan untuk variasi jarak 250 nm, distribusi medan listrik optimal berada pada panjang gelombang elektromagnetik dengan pada panjang gelombang 500 nm. Namun, seperti terlihat pada Gambar 4.11 (b) bahwa kontur warna tidak terdistribusi secara merata seperti pada nanostruktur dengan jarak 100 nm.

4.2 Darah Normal

Medium darah normal pada penelitian ini merupakan medium dengan kadar glukosa di dalam darah yang berada pada rentang konsentrasi 70-130 mg/dL. Berdasarkan data tersebut, penulis melakukan perhitungan memanfaatkan penelitian Lazareva 2000 sehingga pada kasus darah normal parameter optik yang digunakan penulis indeks bias bernilai 1.72. Setelah dilakukan komputasi, dilakukan analisis data untuk menentukan sumber gelombang elektromagnetik dengan variasi jarak yang optimal untuk deteksi glukosa darah.

4.2.1 Medan Listrik maksimum darah normal

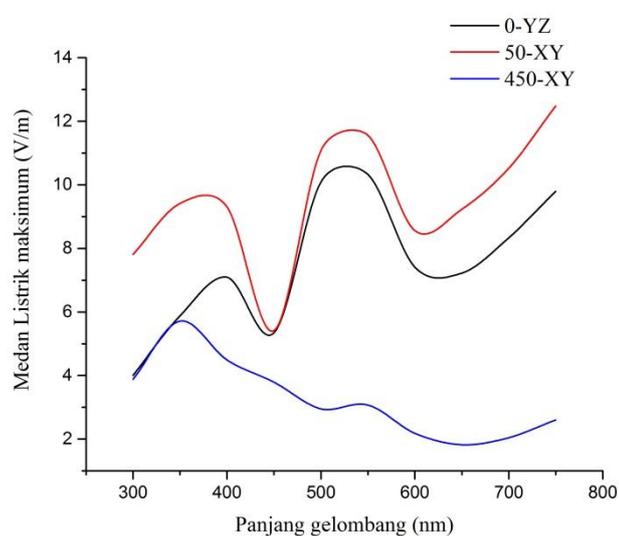
Medan listrik maksimum yang berada pada medium darah normal memiliki perbedaan dengan medium hipoglikemia.



Gambar 4. 12 Distribusi medan listrik maksimum sebagai fungsi panjang gelombang pada jarak antar nanostruktur sebesar 100 nm.

Gambar 4.12 menunjukkan nilai medan listrik maksimum dari tiga irisan bidang dua dimensi yang dilakukan dalam penelitian dengan variasi jarak antar nanostruktur sebesar 100 nm. Dari data ini kita dapat melihat bahwa medan listrik tidak terdistribusi dengan baik karena terdapat nilai yang cukup jauh berbeda antara medan listrik maksimum di kedalaman 50 nm dan kedalaman 450 nm. Hasil menunjukkan bahwa *peak* medan listrik maksimum berada pada saat pemberian panjang gelombang sebesar 400 nm. Setelah mencapai nilai maksimum pada panjang gelombang 400 nm, pola distribusi medan listrik maksimum mengalami penurunan sampai pada panjang gelombang 750 nm. Gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 750 nm memiliki spektrum berwarna merah, sehingga refleksi dari darah terhadap gelombang yang diberikan cukup besar.

Berdasarkan teori bahwa jika benda dengan warna spektrum yang sama dengan gelombang elektromagnetik yang diberikan akan merefleksikan gelombang tersebut. Hal ini membuat gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 750 nm tidak lebih optimal dari panjang gelombang 450 nm untuk deteksi glukosa darah karena panjang gelombang 750 nm memiliki warna yang sama dengan darah sehingga terjadi refleksi yang cukup besar. Hal ini memberikan kesimpulan bahwa gelombang elektromagnetik optimal untuk mendeteksi glukosa darah pada medium normal adalah dengan panjang gelombang 450 nm.



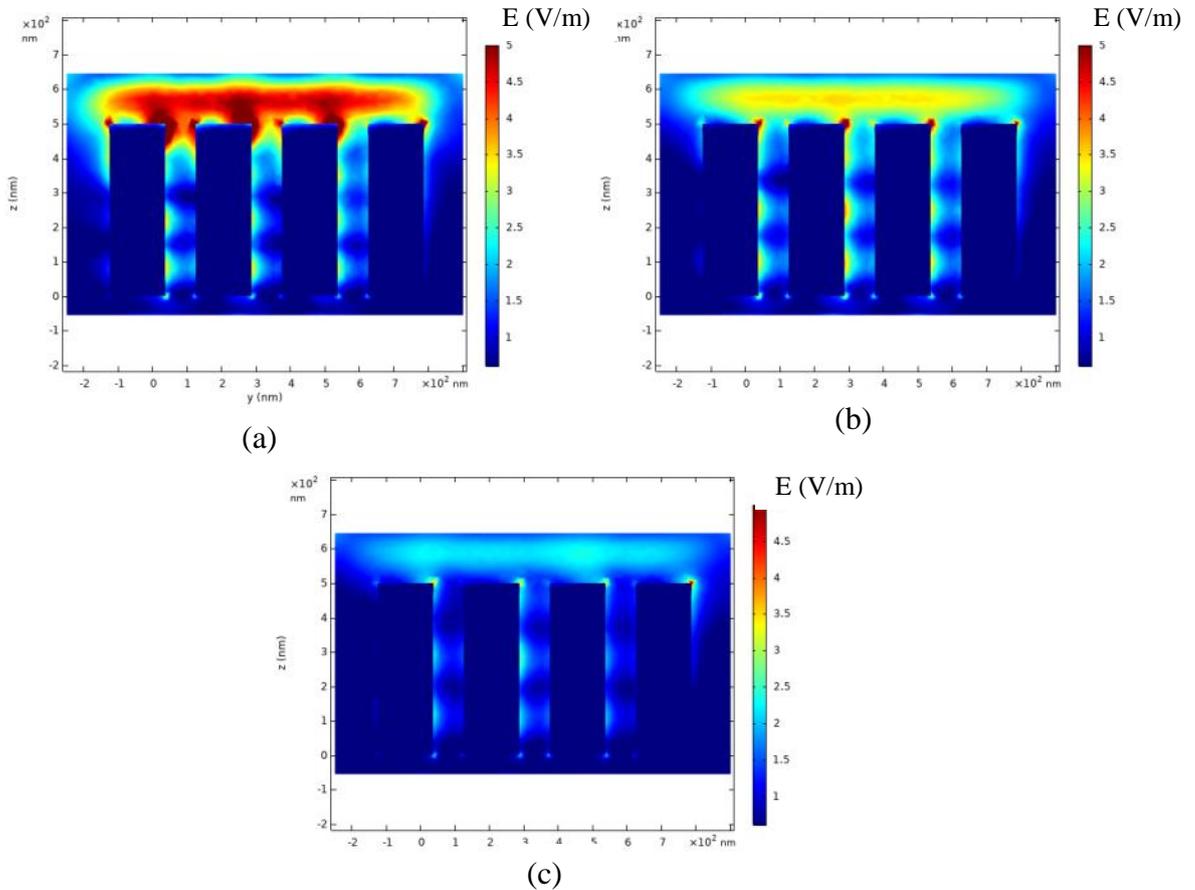
Gambar 4. 13 Distribusi medan listrik maksimum sebagai fungsi panjang gelombang pada jarak antar nanostruktur sebesar 250 nm.

Pada Gambar 4.13, distribusi medan listrik lebih merata dimana perbedaan antara medan listrik maksimal diantara kedalaman 50 nm dan 450 nm memiliki jarak yang terlihat cukup jauh. Namun pada orde yang terukur, nilainya tidak berbeda secara signifikan. Nilai *peak* medan listrik pada irisan bidang YZ kedalaman 450 nm muncul pada pemberian panjang gelombang 350 nm dan 550 nm. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi medan listrik pada variasi jarak memiliki nilai yang optimal menggunakan panjang gelombang sebesar 550 nm. Berdasarkan spektrum warna pada panjang gelombang 550 nm adalah berwarna

hijau sehingga gelombang yang diberikan tidak terlalu direfleksikan. Hal ini mendukung teori sehingga panjang gelombang optimal pada medium darah normal untuk distribusi medan listrik adalah dengan panjang gelombang 550 nm.

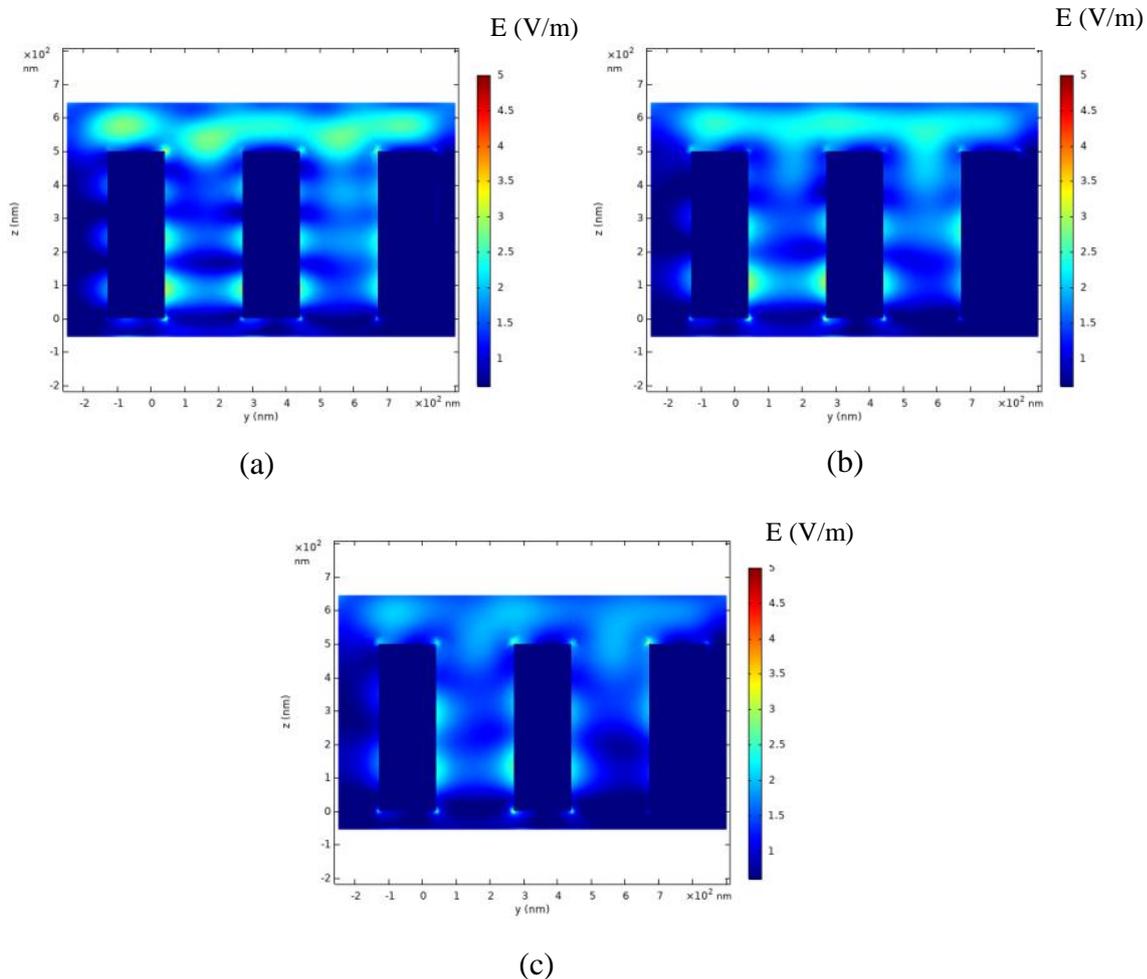
Dari Gambar 4.12 dan 4.13 dapat dilihat bahwa nilai medan listrik pada jarak antar nanostruktur 100 nm dan 250 nm tidak memiliki perbedaan nilai yang signifikan. Nilai medan listrik maksimum di kedua variasi jarak tidak terpaut jauh dan memiliki pola yang tidak jauh berbeda satu sama lain. Pada pola distribusinya, nilai medan listrik yang ada pada medium darah normal cenderung lebih rendah dibandingkan dengan medium hipoglikemia. Hal ini dikarenakan pengaruh kerapatan yang lebih tinggi pada medium darah normal sehingga menghambat perambatan gelombang elektromagnetik. Meskipun demikian, distribusi gelombang elektromagnetik memiliki panjang gelombang optimal yang mengakibatkan persebaran medan listrik lebih merata. Sehingga perbedaan nilai medan listrik yang cenderung lebih rendah pada medium darah normal bisa diatasi dengan menaikkan daya pada gelombang elektromagnetik atau memberikan penguatan sehingga nilai yang dihasilkan tidak berada pada orde yang terlalu kecil.

4.2.2 Kontur warna distribusi medan listrik



Gambar 4. 14 Distribusi medan listrik pada jarak antar nanostruktur 100 nm dengan panjang gelombang sebesar : (a) 400 nm, (b) 450 nm dan (c) 500 nm

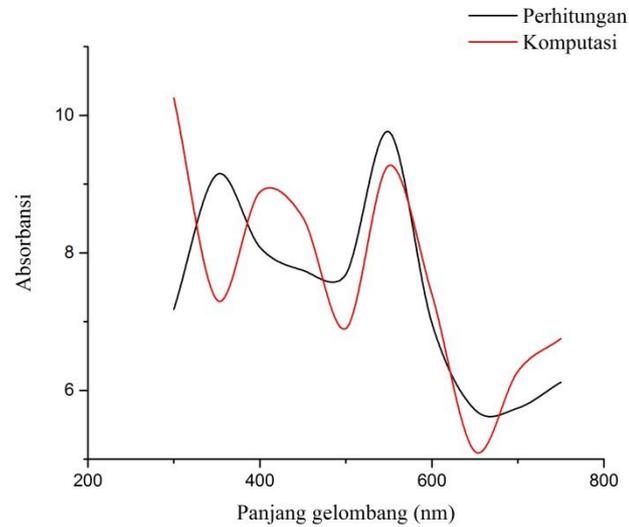
Gambar 4.14 menunjukkan nilai distribusi medan listrik pada medium darah normal dengan variasi jarak antar nanostruktur sebesar 100 nm. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa secara umum gelombang elektromagnetik tidak terdistribusi dengan baik sehingga medan listrik dengan nilai relatif besar berkumpul di permukaan atas nanostruktur dan tidak terjadi akumulasi pada medium diantara nanostruktur. Hal ini menyebabkan bagian bawah bagian nanostruktur kurang mendapatkan paparan medan listrik.



Gambar 4. 15 Distribusi medan listrik pada jarak antar nanostruktur 250 nm dengan panjang gelombang sebesar : (a) 400 nm, (b) 450 nm dan (c) 500 nm

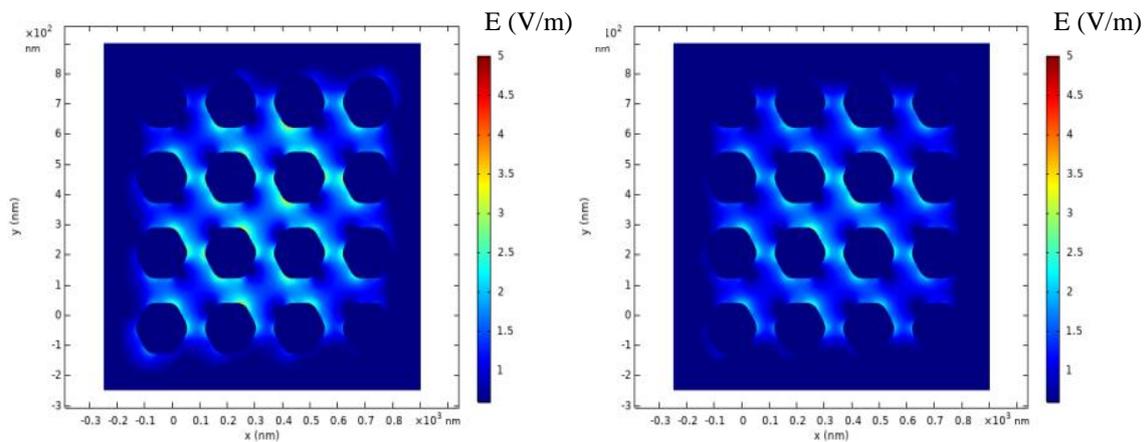
Gambar 4.15 menunjukkan nilai distribusi medan listrik dengan jarak antar nanostruktur sebesar 250 nm. Pada gambar terlihat bahwa nilai medan listrik yang terdistribusi memiliki warna kontur biru yang menunjukkan diantara 0-3 V/m. Kontur berwarna merah tidak terlihat sehingga dapat dikatakan bahwa tidak muncul medan listrik dengan skala tinggi pada distribusi medium normal. Namun kontur warna biru muda terlihat secara merata tersebar medium yang ada sampai mendekati substrat kaca ITO. Hal ini menunjukkan bahwa dengan jarak antar nanostruktur sebesar 250 nm, medan listrik dapat terdistribusi lebih baik, khususnya pada panjang gelombang 400 nm.

4.2.3 Absorbansi



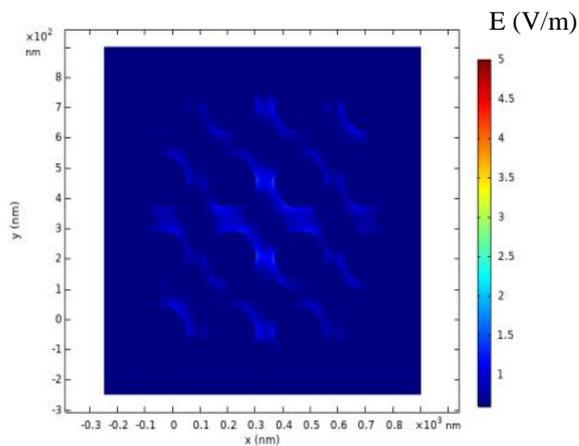
Gambar 4. 16 Absorbansi sebagai fungsi panjang gelombang pada jarak 250 nm pada medium darah normal

Gambar 4.16 menunjukkan nilai absorbansi pada jarak antar nanostruktur 100 nm. Didapatkan bahwa absorbansi maksimum berada pada panjang gelombang 400 nm. Nilai absorbansi yang didapat dari pendekatan persamaan maupun simulasi comsol memiliki perbedaan yang cukup tinggi pada periode puncak dan polanya. Namun, nilai yang terukur berada pada orde yang rendah sehingga secara lebih rinci perbedaannya tidak terlalu besar. Secara lebih jelas gambar 4.17 menunjukkan kontur distribusi medan listrik pada kedalaman 450 nm.



(a)

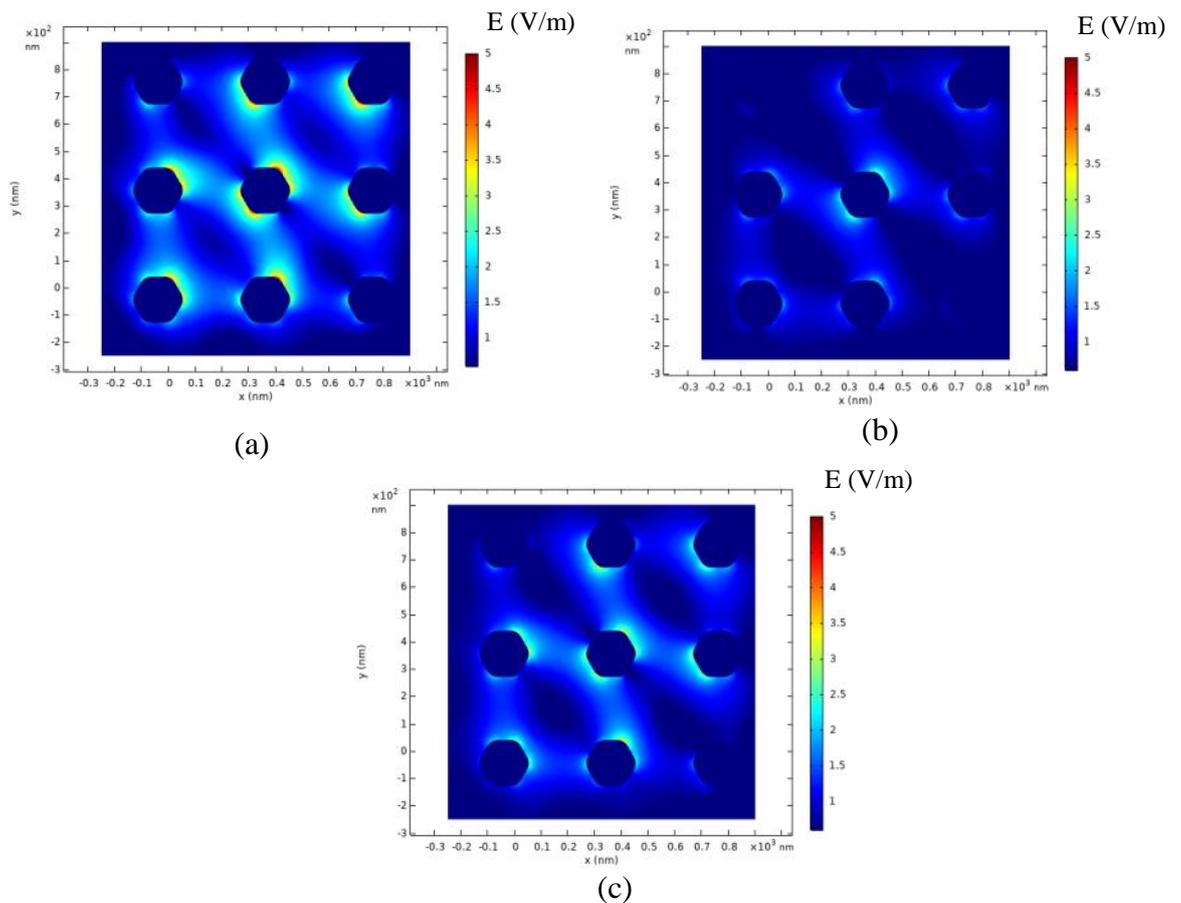
(b)



(c)

Gambar 4. 17 Distribusi medan listrik pada jarak antar nanostruktur 100 nm kedalaman 450 nm dengan panjang gelombang sebesar : (a) 400 nm, (b) 450 nm dan (c) 500 nm

Gambar 4.17 menunjukkan pola sebaran medan listrik tampak atas dengan kedalaman 450 nm. Terlihat distribusi medan listrik berada pada nilai yang cukup rendah yang diwakili kontur berwarna biru. Hal ini menunjukkan bahwa absorpsi gelombang elektromagnetik memiliki nilai yang kecil sehingga medan listrik di bagian dalam medium berwarna biru.



Gambar 4. 18 Distribusi medan listrik pada jarak antar nanostruktur 250 nm kedalaman 450 nm dengan panjang gelombang sebesar : (a) 400 nm, (b) 450 nm dan (c) 500 nm

Ditunjukkan pada Gambar 4.17 dan 4.18 bahwa kontur warna terlihat berwarna biru gelap sampai biru muda. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan absorbansi kedua variasi jarak tidaklah bernilai signifikan. Hal ini sebanding dengan hasil pada grafik absorbansi yang ditunjukkan baik oleh perhitungan maupun simulasi.

4.3 Hiperglikemia

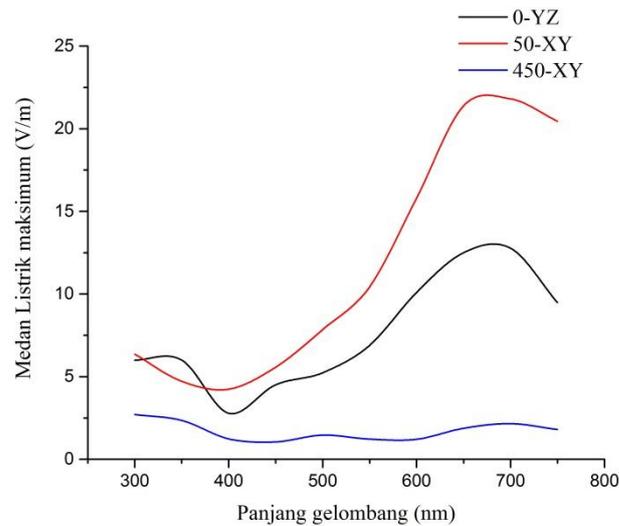
Medium hiperglikemia merupakan kondisi darah yang mengandung konsentrasi glukosa dengan kadar yang tinggi. Dengan meningkatnya konsentrasi glukosa maka nilai kerapatan medium darah hiperglikemia menjadi lebih besar. Pada penelitian ini, kondisi darah hiperglikemia menyebabkan distribusi medan

listriknnya menjadi rendah. Pada panjang gelombang optimal, penetrasi kedalam bagian dalam nanostruktur terbilang cukup baik. Namun karena penurunan nilai akibat daya yang rendah menyebabkan nilai medan listrik yang terbaca menjadi rendah.

Pada kasus reaksi oksidasi glukosa yang menghasilkan elektron, medium hiperglikemia akan menghasilkan arus yang lebih tinggi daripada medium hipoglikemia maupun darah normal. Hal ini dikarenakan banyaknya glukosa yang bisa dioksidasi menjadi elektron yang kemudian bisa di-*sensing* oleh nanostruktur ZnO. Pada studi yang lebih lanjut, efek pemberian gelombang elektromagnetik bisa menyebabkan elektron bebas pada nanostruktur ZnO meresonansikan elektron sehingga bisa menggantikan enzim *Glucose Oxidase (GOx)* sehingga mampu memecah ikatan glukosa dengan darah menjadi arus listrik.

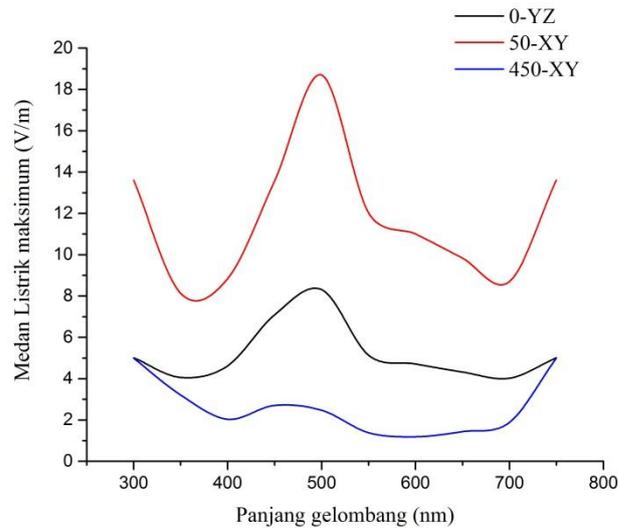
4.3.1 Medan listrik maksimum hiperglikemia

Pada medium hiperglikemia, gelombang elektromagnetik tidak bisa terdistribusi secara maksimal seperti pada medium hipoglikemia maupun darah normal. Nilai medan listrik maksimal berdasarkan grafik 4.19 menunjukkan bahwa bahwa besar panjang gelombang optimal pada penetrasi gelombang elektromagnetik paling optimal berada pada panjang gelombang 550 nm. Hal ini menunjukkan pergeseran peak panjang gelombang optimal diakibatkan kerapatan yang tinggi pada medium hiperglikemia.



Gambar 4. 19 Distribusi medan listrik maksimum sebagai fungsi panjang gelombang pada jarak antar nanostruktur sebesar 100 nm.

Berdasarkan nilai pada Gambar 4.19 dapat dilihat sebaran medan listrik di bagian permukaan (kedalaman 50 nm) dan di bagian dalam nanostruktur (kedalaman 450 nm). Perbandingan perubahan antara medan listrik maksimum di kedalaman 50 nm dan 450 nm memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Nilai medan listrik maksimum berada di rentang 1 – 2,7 V/m pada kedalaman 450 nm, sedangkan pada kedalaman 50 nm medan listrik maksimum bisa bernilai sampai 21,8 V/m. Hal ini menunjukkan distribusi medan listrik yang tidak merata sampai bagian bawah. Medium hiperglikemia (kadar glukosa tinggi) memiliki kerapatan yang tinggi sehingga menghambat perambatan gelombang elektromagnetik. Penetrasi yang cukup baik berada pada gelombang elektromagnetik dengan pemberian panjang gelombang 500 nm. Hal ini ditunjukkan dari nilai medan listrik maksimum di permukaan yakni 7,84 V/m bisa terpenetrasi hingga bernilai 1.46 V/m. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa panjang gelombang paling bagus untuk distribusi medan listrik dengan jarak antar nanostruktur 100 nm berada pada panjang gelombang 500 nm.

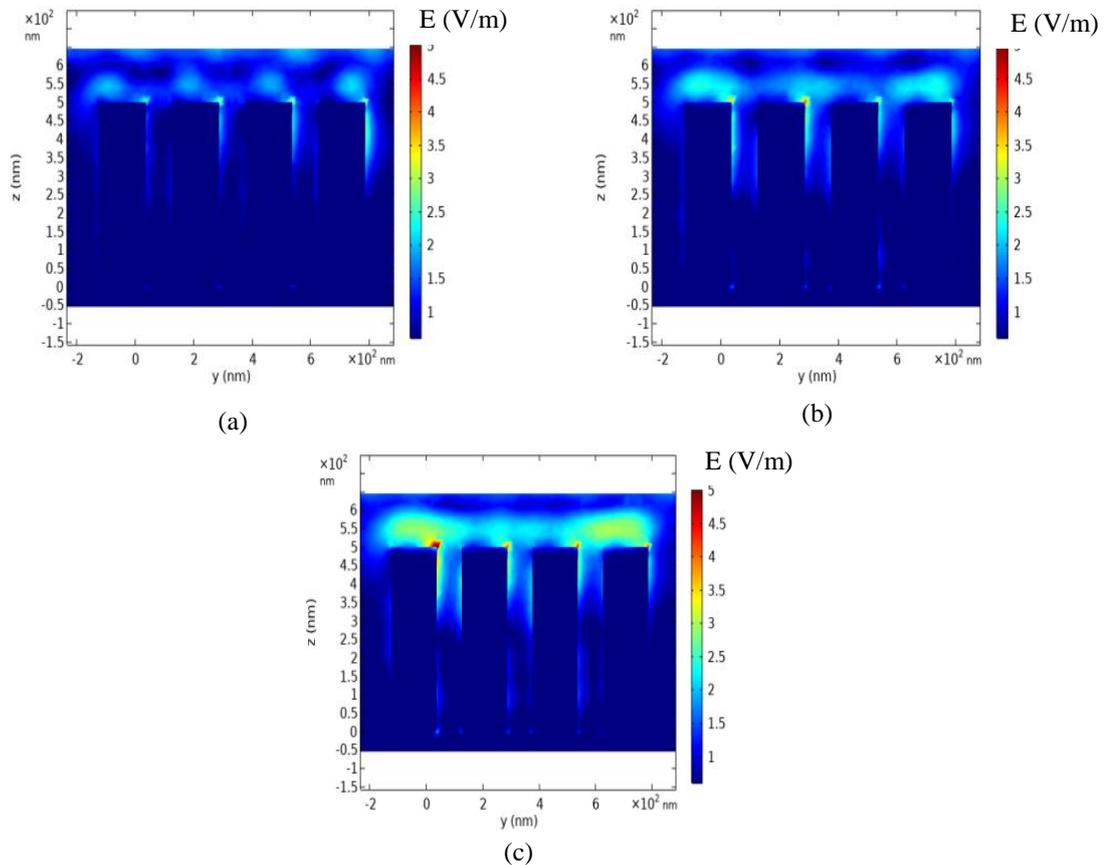


Gambar 4. 20 Distribusi medan listrik maksimum sebagai fungsi panjang gelombang pada jarak antar nanostruktur sebesar 250 nm.

Pada variasi jarak antar nanostruktur 250 nm, distribusi medan listrik bernilai lebih merata. Baik di irisan tampak samping maupun tampak atas nilai medan listrik maksimal berada pada orde satuan. Nilai medan listrik tidak terakumulasi dan menjadikan penguatan namun lebih tersebar di seluruh medium. Dapat dilihat pada kedalaman 450 nm, distribusi medan listrik berada pada rentang 3.5 – 5 V/m yang menunjukkan bahwa gelombang elektromagnetik dapat melakukan penetrasi dengan baik.

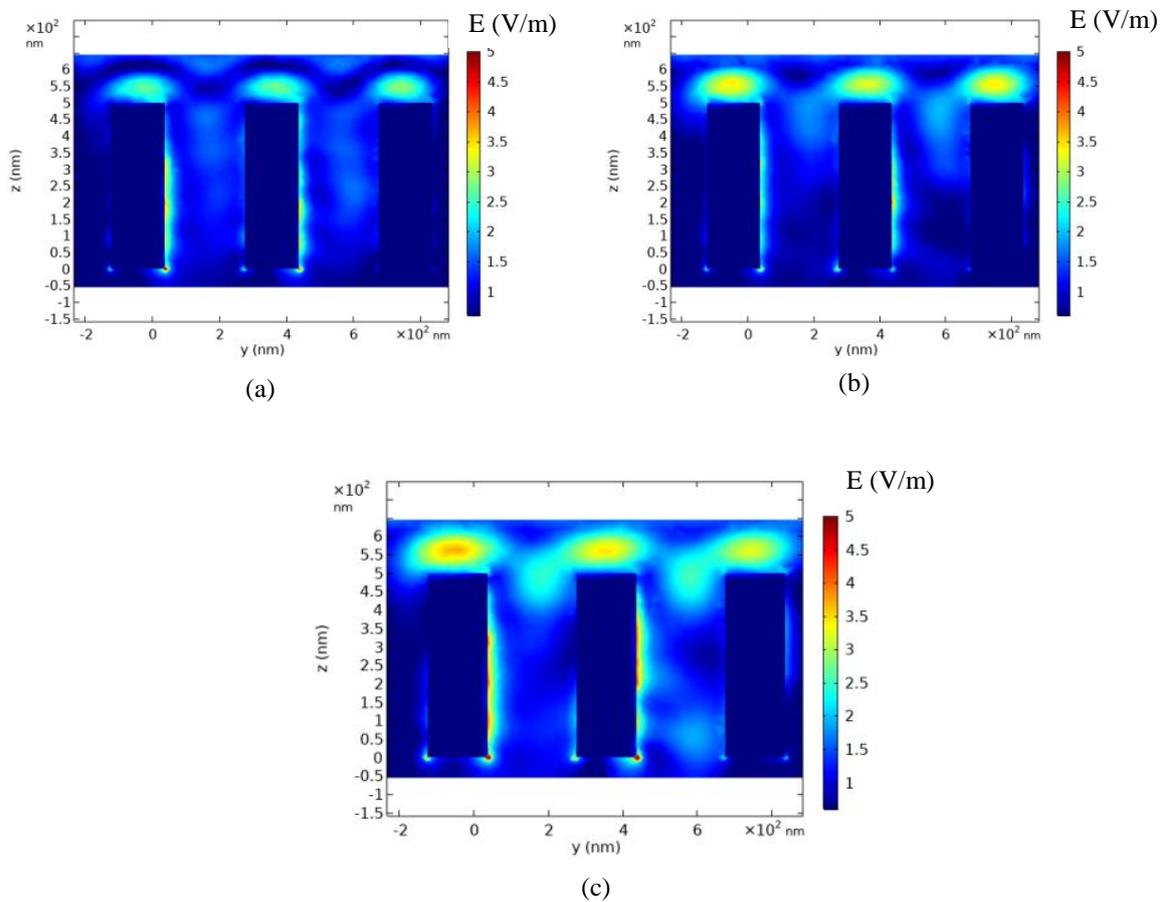
Dilihat di kedalaman 50 nm bahwa nilai medan listrik yang tersebar berada pada rentang yang rendah sehingga hal ini dapat memberikan pernyataan bahwa distribusi medan listrik pada medium hiperglikemia dengan jarak antar nanostruktur 250 nm dapat melakukan penetrasi hingga kedalaman 450 nm. Namun, perlu nilai input daya yang tinggi agar distribusinya bisa maksimal. *Peak* yang muncul pada panjang gelombang 550 nm dan 650 nm memberikan pernyataan bahwa panjang gelombang optimal gelombang elektromagnetik untuk deteksi glukosa darah pada medium hiperglikemia adalah 550 nm dan jarak antar nanostruktur sebesar 250 nm. Jarak 250 nm optimal dikarenakan mampu mendistribusikan medan listrik lebih baik daripada menggunakan jarak antar nanostruktur 100 nm.

4.3.2 Kontur distribusi medan listrik pada medium hiperglikemia



Gambar 4. 21 Distribusi medan listrik pada jarak antar nanostruktur 100 nm dengan panjang gelombang sebesar : (a) 450 nm, (b) 500 nm dan (c) 550 nm

Gambar 4.21 menunjukkan distribusi medan listrik pada jarak antar nanostruktur sebesar 100 nm. Terlihat bahwa medan listrik direfleksikan oleh nanostruktur ZnO bagian atas sehingga tidak bisa melakukan penetrasi ke bagian bawah (dalam) sehingga bagian yang berada di dekat substrat memiliki kontur berwarna biru gelap. Pemberian gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang sebesar 550 nm memiliki distribusi medan listrik yang lebih besar dimana beberapa titik bagian bawah dekat substrat ITO warna kontur terlihat biru muda yang berarti distribusi medan listrik bernilai lebih besar. Nilai indeks bias yang tinggi pada medium hiperglikemia menyebabkan gelombang elektromagnetik tidak terdistribusi maksimal.

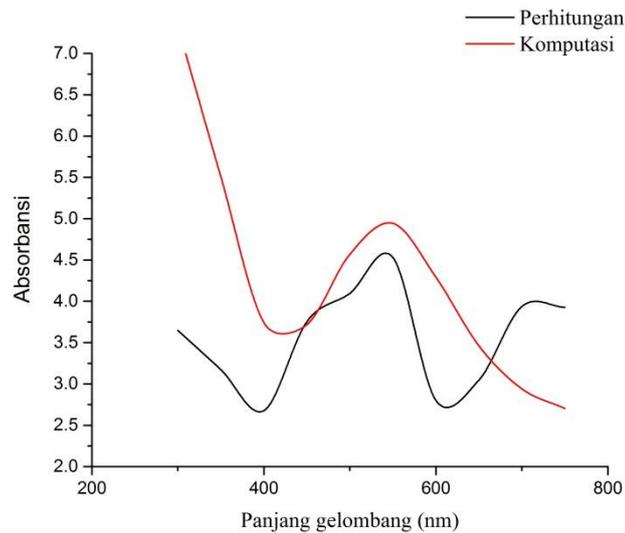


Gambar 4. 22 Distribusi medan listrik pada jarak antar nanostruktur 250 nm dengan panjang gelombang sebesar : (a) 450 nm, (b) 500 nm dan (c) 550 nm

Dari gambar 4.22 dapat dilihat bahwa pada medium hiperglikemia nanostruktur ZnO merefleksikan gelombang elektromagnetik sehingga distribusi medan listrik tidak merata seperti pada medium hipoglikemia maupun pada darah normal. Namun, medan listrik pada jarak antar nanostruktur 250 nm memiliki distribusi yang lebih baik daripada pada ketika menggunakan jarak antar nanostruktur 100 nm. Hal ini dikarenakan peran material ZnO pada medium hiperglikemia menjadi lebih mudah merefleksikan gelombang elektromagnetik. Pada medium hiperglikemia dengan jarak antar nanostruktur sebesar 250 nm, rongga antar nanostruktur yang lebih besar memberikan ruang untuk distribusi medan listrik hingga mendekati substrat ITO. Medan listrik pada jarak antar nanostruktur ini memiliki nilai yang lebih besar dan distribusi yang lebih merata.

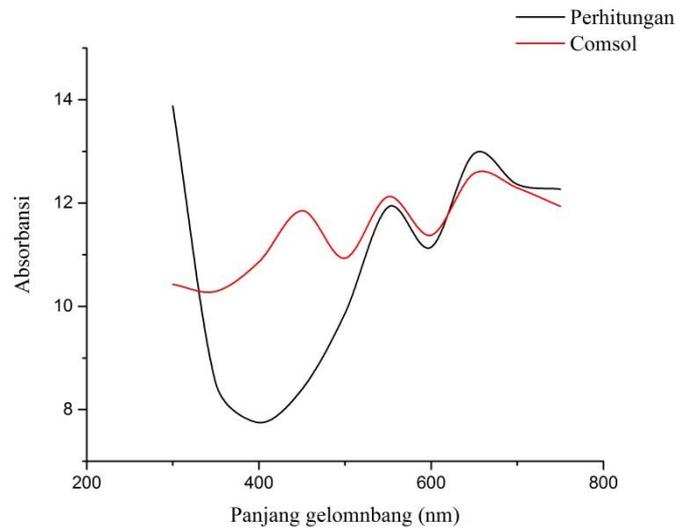
Sehingga untuk pemberian distribusi medan listrik medium hiperglikemia lebih optimal pada jarak 250 nm dengan panjang gelombang 550 nm.

4.3.3 Absorbansi pada medium hiperglikemia



Gambar 4. 23 Absorbansi sebagai fungsi gelombang pada jarak antar nanostruktur sebesar 100 nm

Pada Gambar 4.23 menunjukkan nilai absorbansi medan listrik pada variasi jarak antar nanostruktur 100 nm. Terlihat pola absorbansi pada perhitungan dan komputasi memiliki perbedaan. Namun, *peak* absorbansi memiliki kesamaan yakni berada pada pemberian panjang gelombang 550 nm. Hal ini menunjukkan bahwa panjang gelombang optimal menurut perhitungan dan komputasi adalah pada panjang gelombang 550 nm dan karena spektrum warna antara gelombang dan darah berbeda maka gelombang ini sangat optimal untuk deteksi glukosa darah pada medium hiperglikemia.



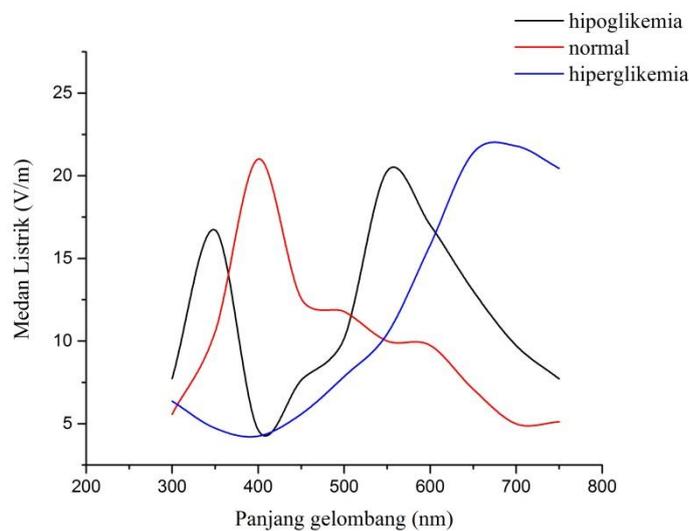
Gambar 4. 24 Absorbansi sebagai fungsi gelombang pada jarak antar nanostruktur sebesar 250 nm

Nilai absorbansi medan listrik pada medium hiperglikemia dengan jarak antar nanostruktur 250 nm memiliki peak pada panjang gelombang sebesar 550 nm. Hal ini sebanding dengan distribusi medan listrik maksimum pada kedalaman 450 nm yang berada pada panjang gelombang 550 nm. Ketika menggunakan simulasi comsol, nilai puncak absorbansi berada pada panjang gelombang 600 nm. Hal ini tidak memiliki perbedaan yang besar sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa besar panjang gelombang optimal pada penetrasi gelombang elektromagnetik paling optimal berada pada panjang gelombang 550 nm.

Nilai kerapatan medium darah yang lebih tinggi dari medium lain menjadikan sifat material ZnO menjadi reflektif. Berdasarkan hubungan variasi medium dan nilai sebaran medan listrik dalam medium dapat dilihat bahwa perbedaan medium mampu merubah karakteristik absorbansi dari nanostruktur ZnO. Pada medium hipoglikemia nanostruktur mampu memberikan efek penguatan pada medan listrik yang ditimbulkan sehingga distribusinya menjadi lebih merata dan bernilai besar.

4.4 Variasi Medium

Pada penelitian perbedaan medium yang digunakan, dilakukan dengan memberikan nilai indeks bias yang berbeda. Besar indeks bias berbanding lurus dengan konsentrasi glukosa di dalam darah. Setelah nanostruktur ZnO dikenai gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang berbeda, diamati nilai sebaran medan listrik pada variasi medium yakni hipoglikemia, darah normal dan darah hiperglikemia. Hasil distribusi medan listrik pada medium yang berbeda ditampilkan pada Gambar 4.25



Gambar 4. 25 Distribusi medan listrik pada medium yang berbeda

Berdasarkan Gambar 4.25 yang menunjukkan pola distribusi medan listrik yang berbeda pada variasi medium, didapatkan puncak yang berbeda pada setiap medium. Pada medium hipoglikemia, didapatkan puncak pada panjang gelombang 350 dan 550 nm, sedangkan pada medium darah normal, puncak medan listrik berada pada panjang gelombang 400 nm sedangkan pada medium hiperglikemia didapatkan nilai puncak berada pada panjang gelombang 650 nm. Didapatkan informasi bahwa terdapat pergeseran puncak pada setiap medium dengan konsentrasi glukosa yang berbeda. Hal ini dikarenakan perbedaan indeks bias yang berbeda pada setiap medium. Dari hasil pada Gambar 4.25 didapatkan bahwa puncak bergeser ke arah kanan sebanding dengan bertambahnya panjang gelombang. Selain itu, didapatkan juga hubungan antara pengaruh indeks bias

dengan panjang gelombang optimal pada distribusi medan listrik. Bahwa nilai indeks bias dari medium sebanding dengan panjang gelombang pada distribusi medan listriknya. Gambar 4.25 juga menunjukkan bahwa pada medium normal, panjang gelombang maksimal berada pada nilai 400 nm sehingga nilai ini menjadi nilai maksimal untuk deteksi glukosa darah.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian analisis medan listrik pada nanostruktur ZnO template AAO sebagai deteksi glukosa darah adalah:

1. Semakin besar konsentrasi glukosa di dalam darah maka menyebabkan distribusi medan listrik semakin rendah di bagian dalam nanostruktur dan menyebabkan pergeseran puncak ke arah kanan pada pola distribusinya.
2. Semakin besar nilai indeks bias medium maka puncak panjang gelombang mengalami pergeseran nilai yang semakin besar. Pada medium hipoglikemia, darah normal dan hiperglikemia masing masing memiliki panjang gelombang maksimum dengan nilai 350 nm, 400 nm dan 650 nm.
3. Kerapatan pada jarak nanostruktur ZnO mempengaruhi penguatan nilai medan listrik. Pada kerapatan 100 nm, nilai medan listrik yang terukur menjadi lebih tinggi dikarenakan karakteristik ZnO yang memberikan efek penguatan pada distribusi medan listrik.

5.2 Saran

Adapun saran dalam penelitian ini agar menjadi penelitian yang lebih baik adalah dengan mengukur nilai indeks bias dari medium yang digunakan melalui eksperimen. Setelah ditemukan distribusi medan listrik optimal pada penelitian ini, maka ketiga medium diamati ulang parameter setelah diberikan penyinaran gelombang elektromagnetik. Parameter seperti permitivitas, permeabilitas dan konduktivitas sebelum dan sesudah pemberian gelombang elektromagnetik akan dapat menambah data pengaruh penyinaran terhadap pasien penderita hipoglikemia maupun hiperglikemia. Selain itu, penelitian lebih lanjut terkait interaksi medan listrik dengan material ZnO perlu dilakukan sehingga mampu mengakibatkan resonansi pada elektron bebas ZnO dan menimbulkan arus listrik. Arus yang dihasilkan akibat resonansi ini diharapkan mampu memecah ikatan

glukosa dengan darah, khususnya pada kondisi hiperglikemia, sehingga darah tidak mengalami kekentalan dan menghambat laju aliran darah.

LAMPIRAN

1. Tabel medan listrik maksimum hipoglikemia

Jarak antar nanostruktur	Lambda	Medan Listrik maksimum (V/m)		
		Tampak samping (V/m)	Kedalaman 50 nm (V/m)	Kedalaman 450 nm (V/m)
100 nm	300	6.54	7.72	3.30
	350	10.13	16.71	5.53
	400	4.51	4.62	2.79
	450	7.19	7.62	2.51
	500	6.37	10.15	3.00
	550	12.10	20.28	4.88
	600	13.54	17.02	4.34
	650	10.20	13.03	3.45
	700	8.17	9.73	2.80
	750	6.93	7.71	2.71
250 nm	300	5.01	13.61	4.99
	350	4.06	8.14	3.21
	400	4.61	8.83	2.03
	450	7.08	13.56	2.70
	500	8.31	18.70	2.47
	550	5.14	12.03	1.38
	600	4.71	11.00	1.18
	650	4.32	9.83	1.43
	700	4.02	8.70	1.88
	750	5.01	13.61	4.99

2. Tabel medan listrik maksimum darah normal

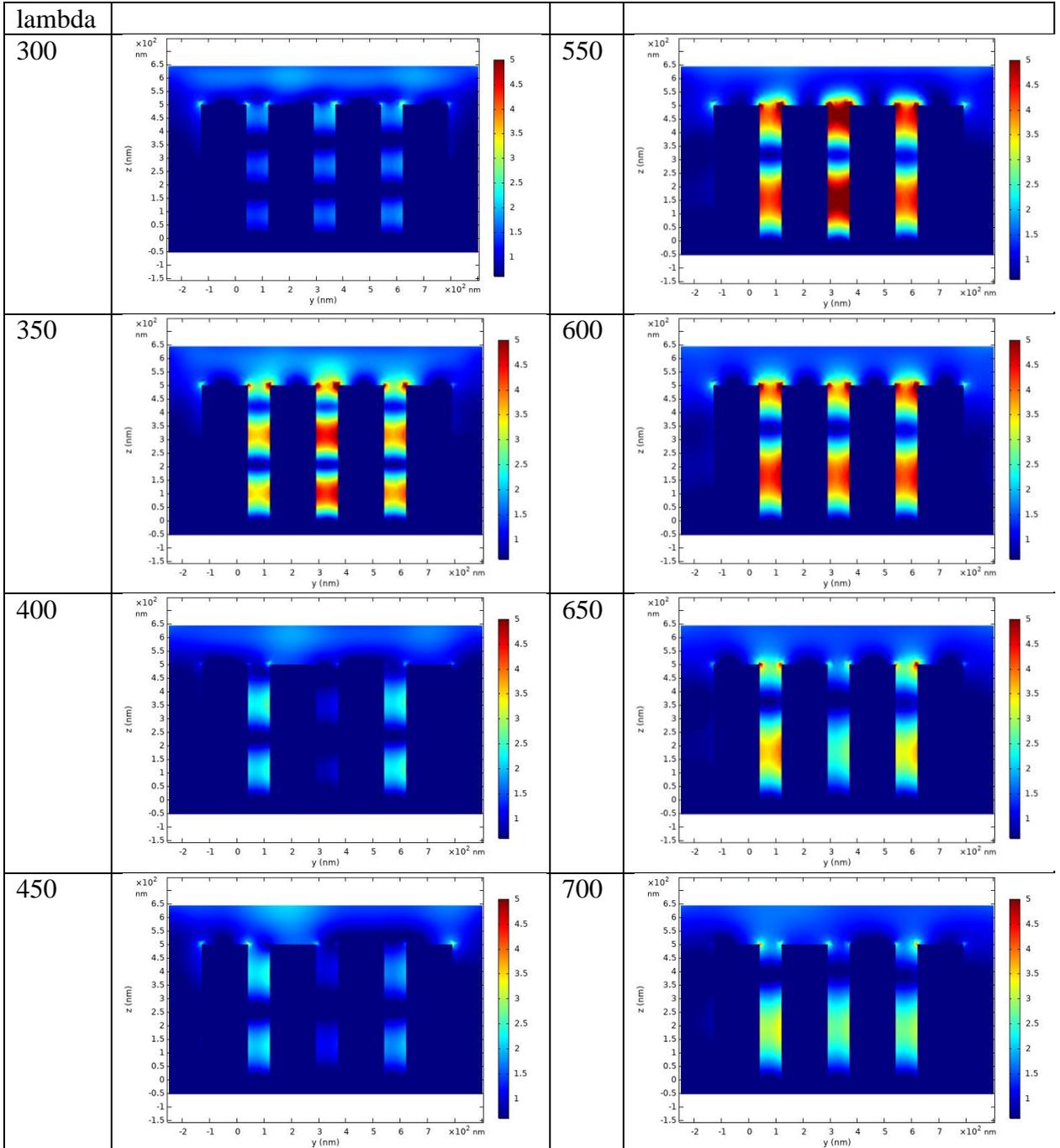
Jarak antar nanostruktur	Lambda	Medan Listrik maksimum (V/m)		
		Tampak samping (V/m)	Kedalaman 50 nm (V/m)	Kedalaman 450 nm (V/m)
100 nm	300	5.49	8.56	2.36
	350	9.45	13.55	2.62
	400	15.50	24.01	4.54
	450	9.27	15.58	3.71
	500	6.64	14.78	1.78
	550	6.02	13.00	1.83
	600	6.24	12.74	1.94
	650	5.68	10.09	1.78
	700	5.49	7.99	1.69
	750	6.22	8.10	2.36
250 nm	300	4.00	7.81	3.88
	350	5.87	9.41	5.71
	400	7.09	9.31	4.49
	450	5.34	5.41	3.79
	500	10.09	11.08	2.95
	550	10.33	11.56	3.07
	600	7.41	8.56	2.18
	650	7.22	9.23	1.82
	700	8.33	10.52	2.04
	750	9.79	12.48	2.60

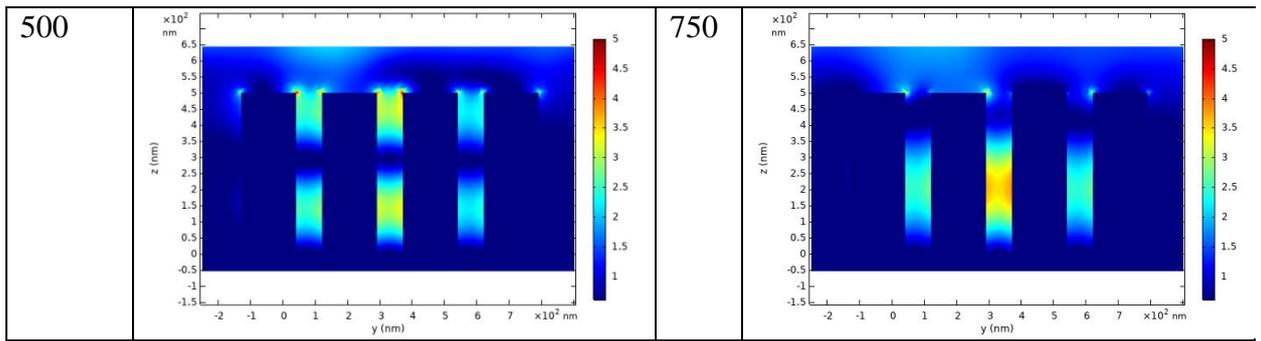
3. Tabel medan listrik maksimum Hiperglikemia

Jarak antar nanostruktur	Lambda	Medan Listrik maksimum (V/m)		
		Tampak samping (V/m)	Kedalaman 50 nm (V/m)	Kedalaman 450 nm (V/m)
100 nm	300	5.99	6.36	2.70
	350	6.00	4.72	2.35
	400	2.78	4.24	1.23
	450	4.50	5.57	1.05
	500	5.23	7.84	1.46
	550	6.88	10.42	1.22
	600	10.08	15.79	1.20
	650	12.49	21.38	1.87
	700	12.77	21.80	2.15
	750	9.48	20.45	1.80
250 nm	300	5.65	7.22	4.89
	350	3.80	4.25	4.49
	400	4.94	3.93	4.54
	450	4.19	4.92	3.64
	500	4.08	7.11	2.65
	550	4.68	7.35	3.59
	600	5.43	6.27	3.45
	650	7.03	5.83	4.11
	700	6.92	5.94	3.72
	750	6.89	8.13	3.67

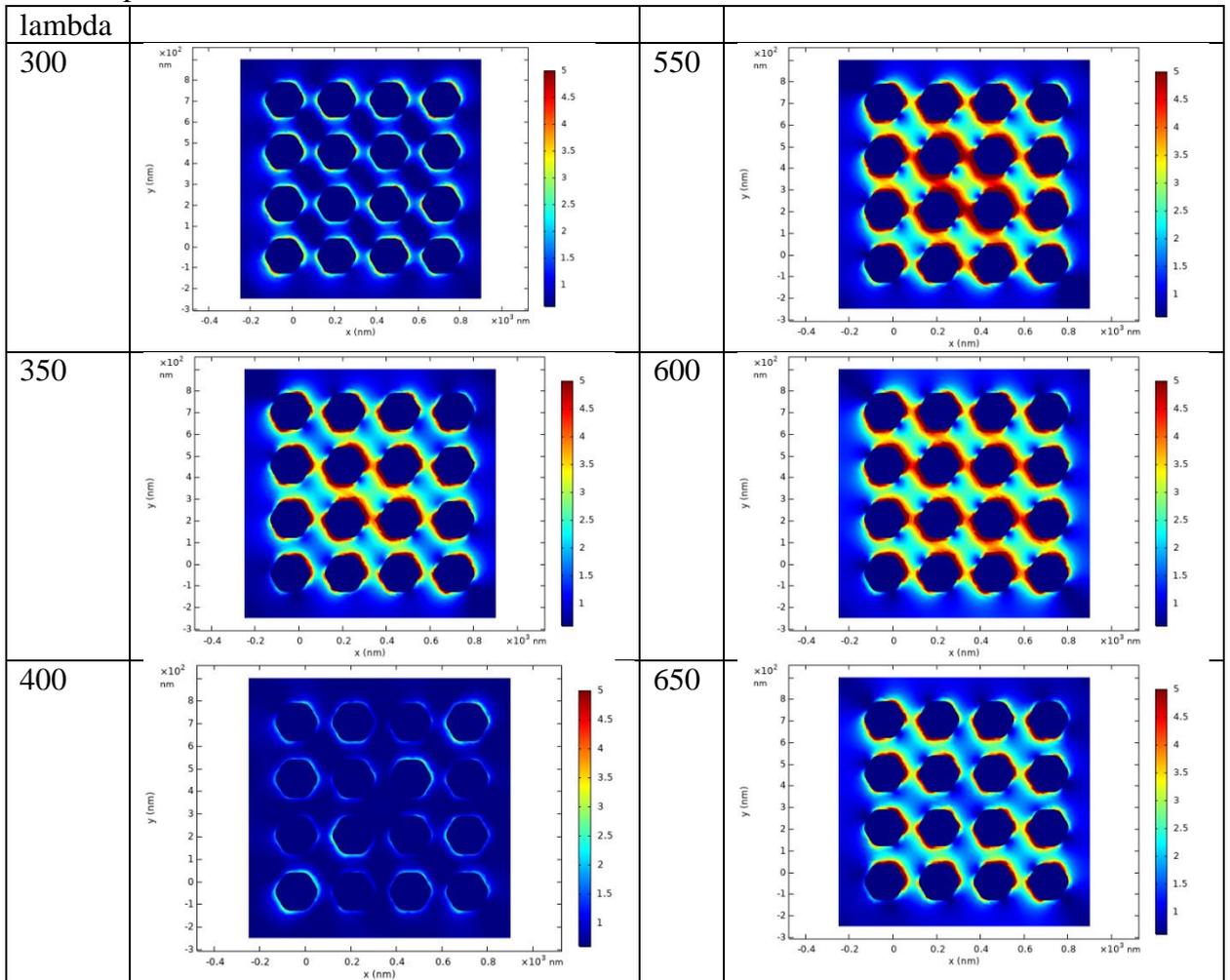
4. Kontur medan listrik medium hipoglikemia array 4x4

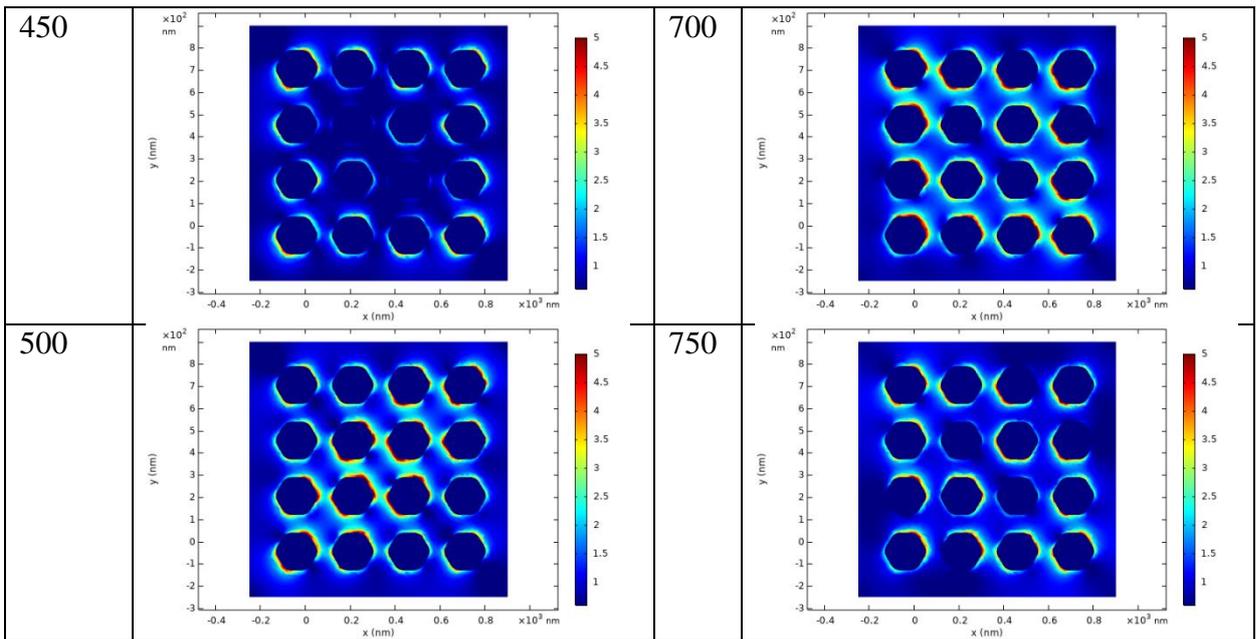
4.1 Tampak samping



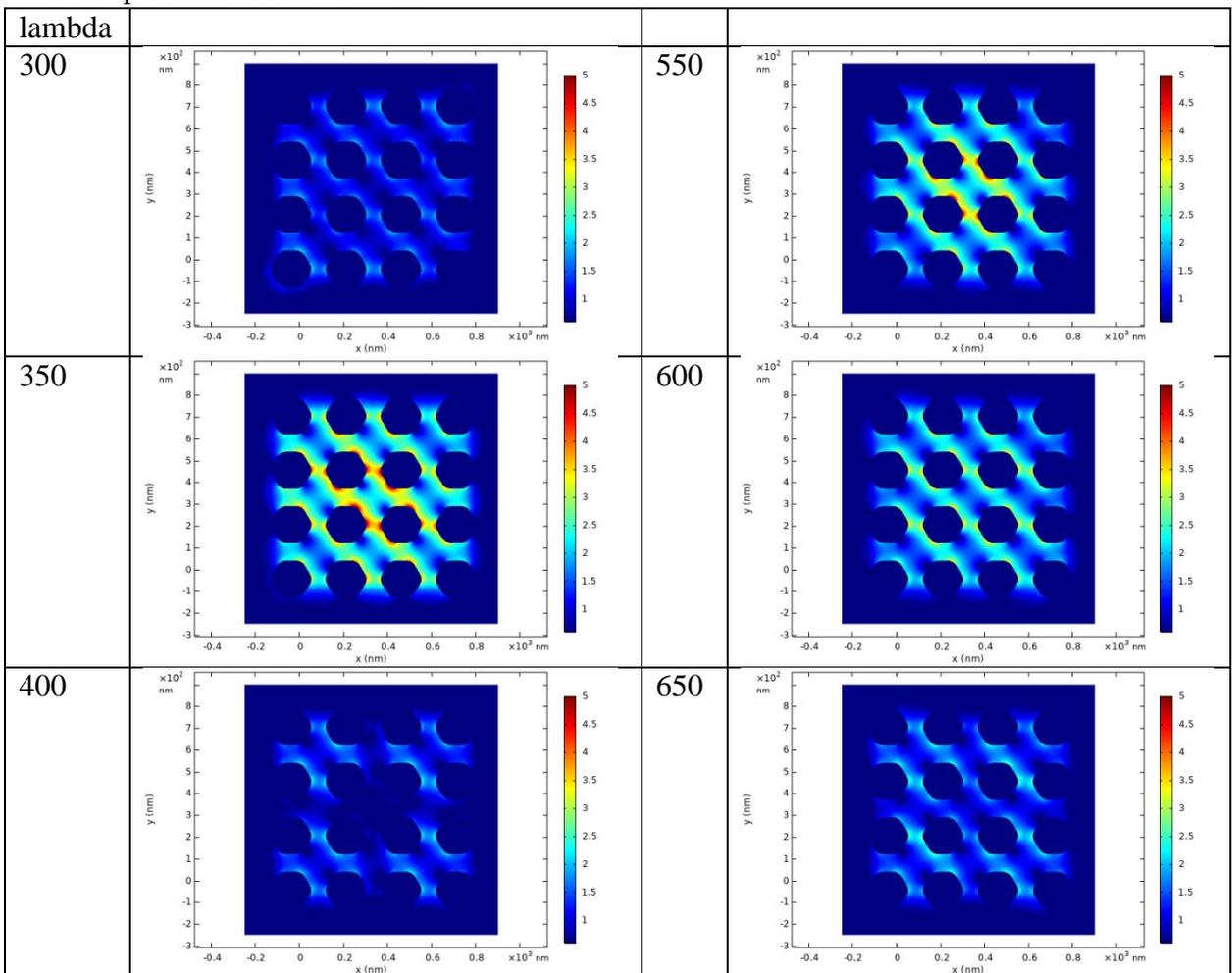


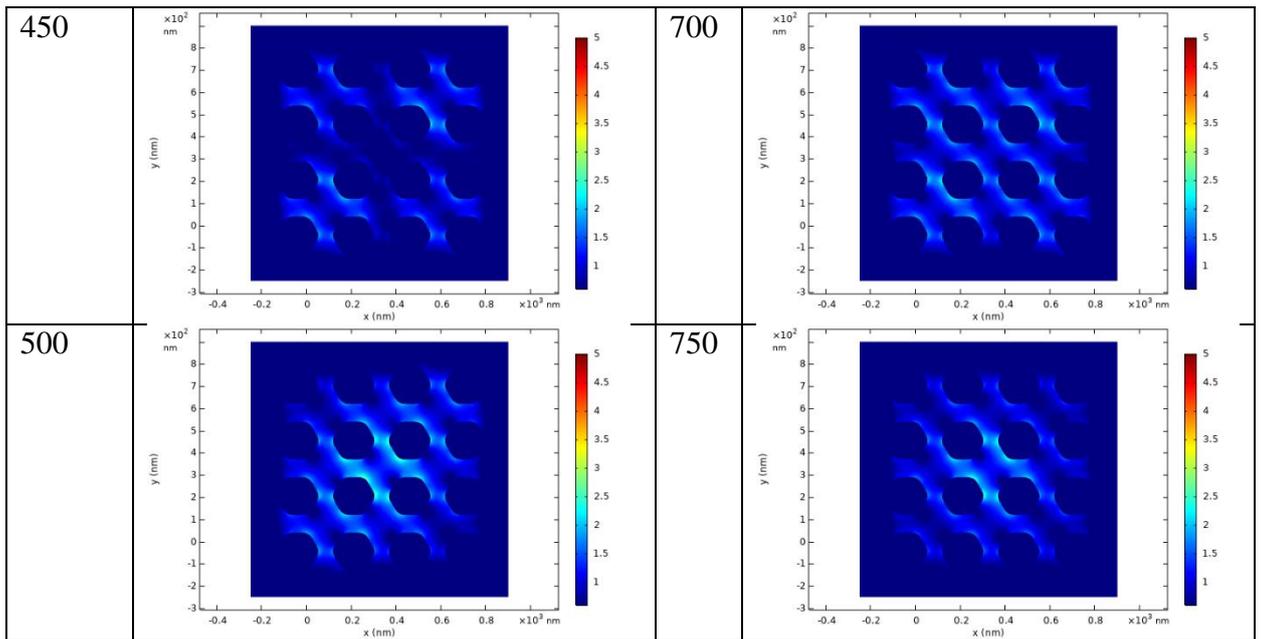
4.2 tampak atas kedalaman 50 nm





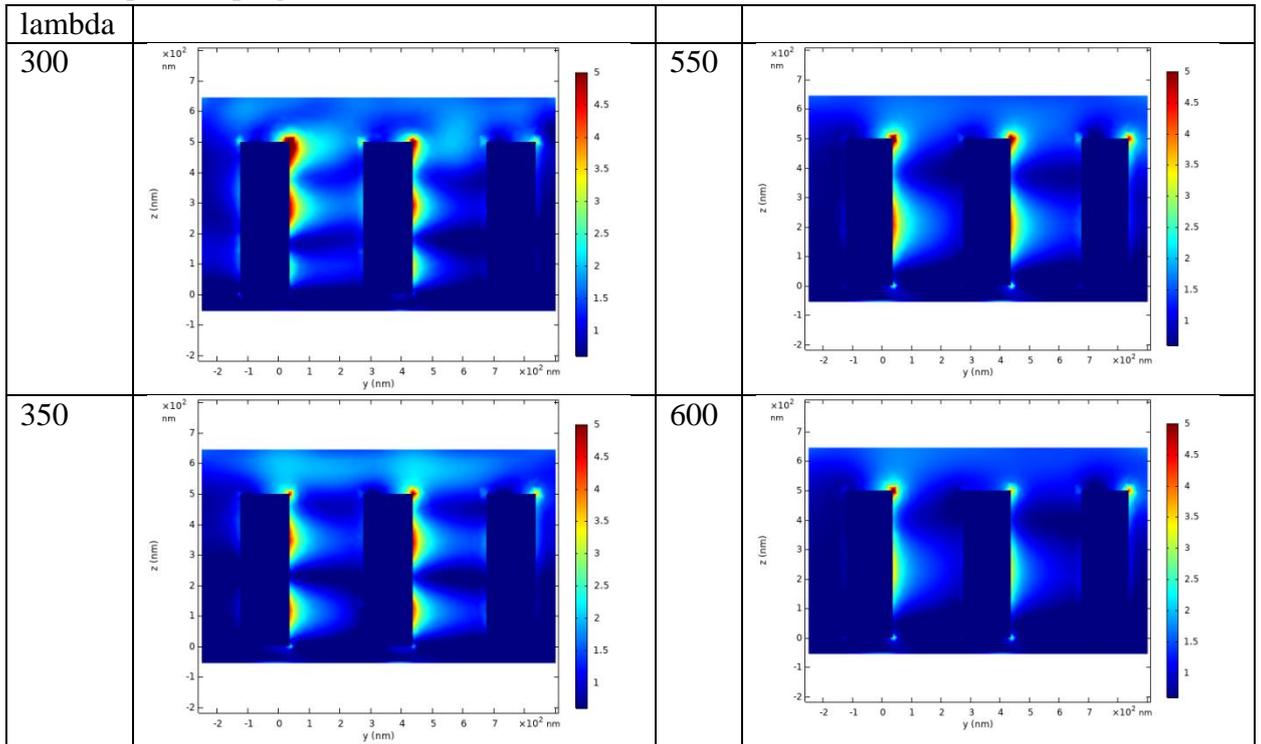
4.3 tampak atas kedalaman 450 nm

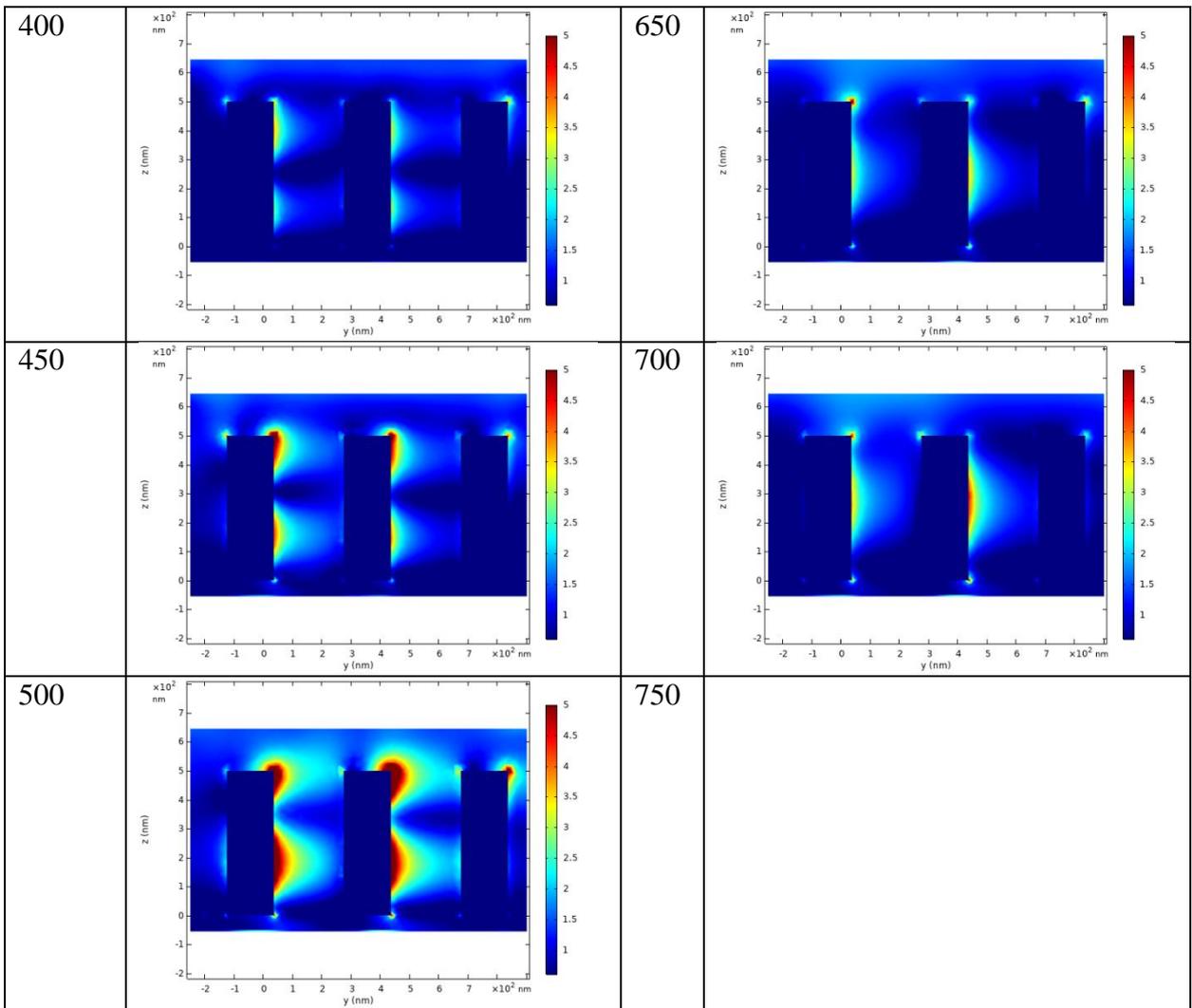




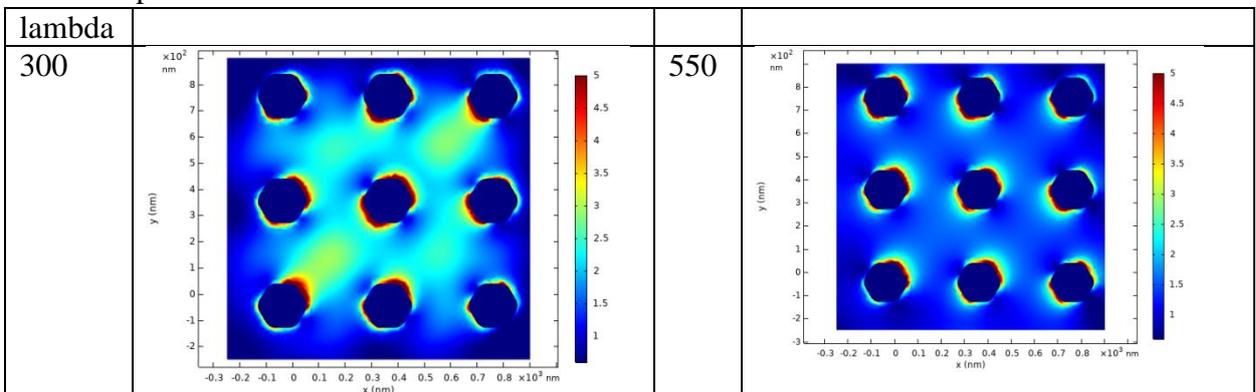
5. Hipoglikemia array 3x3

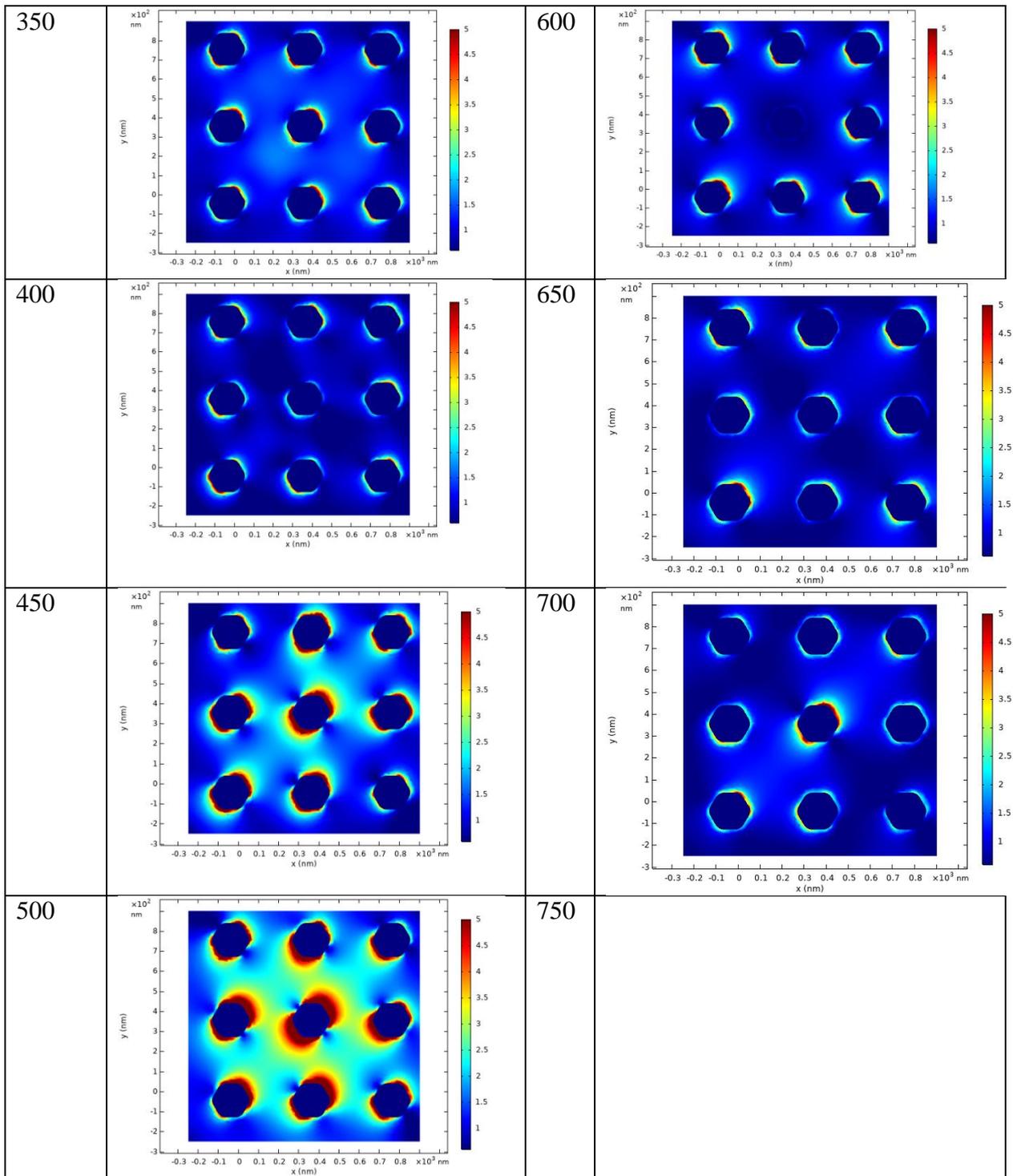
5.1 tampak samping



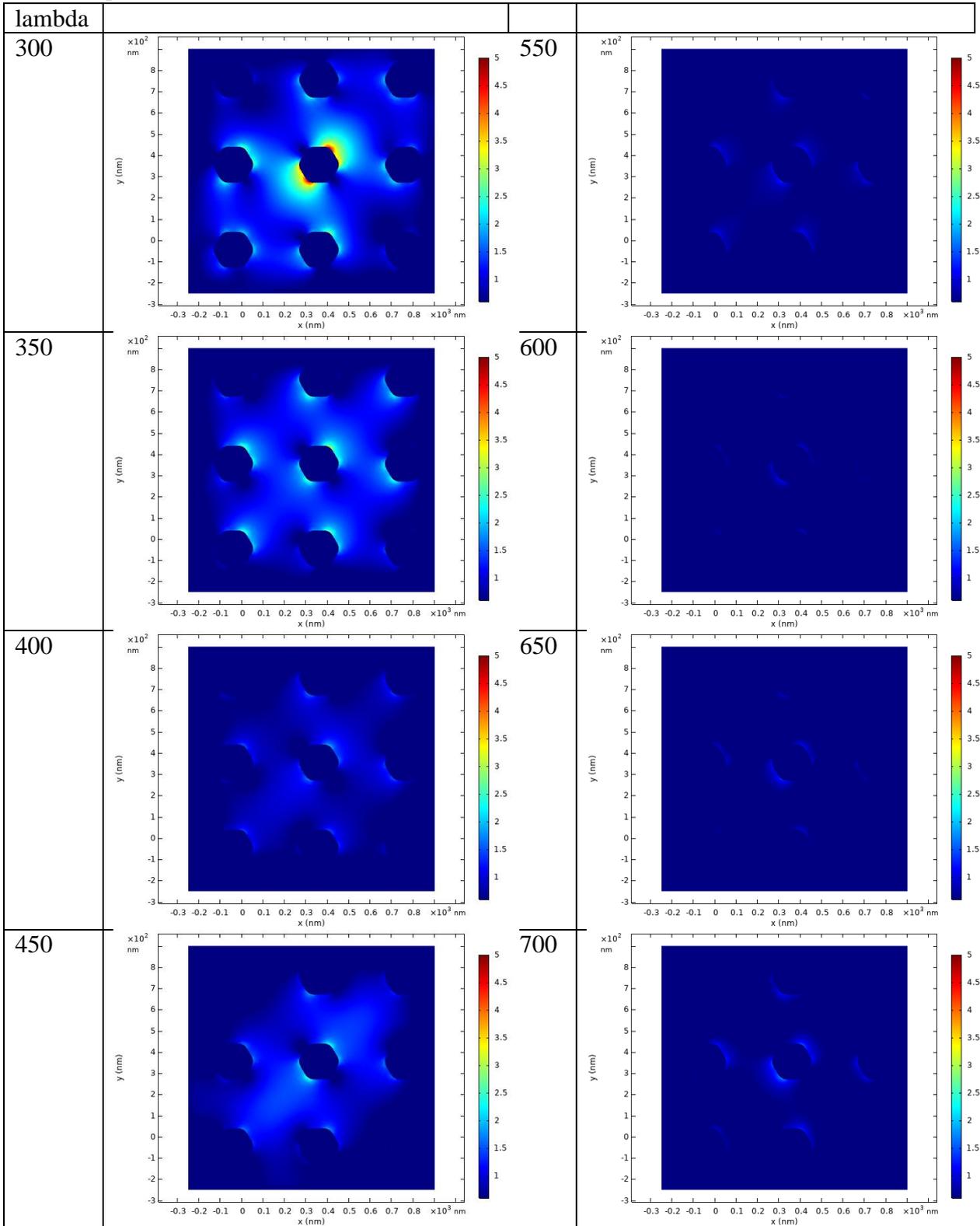


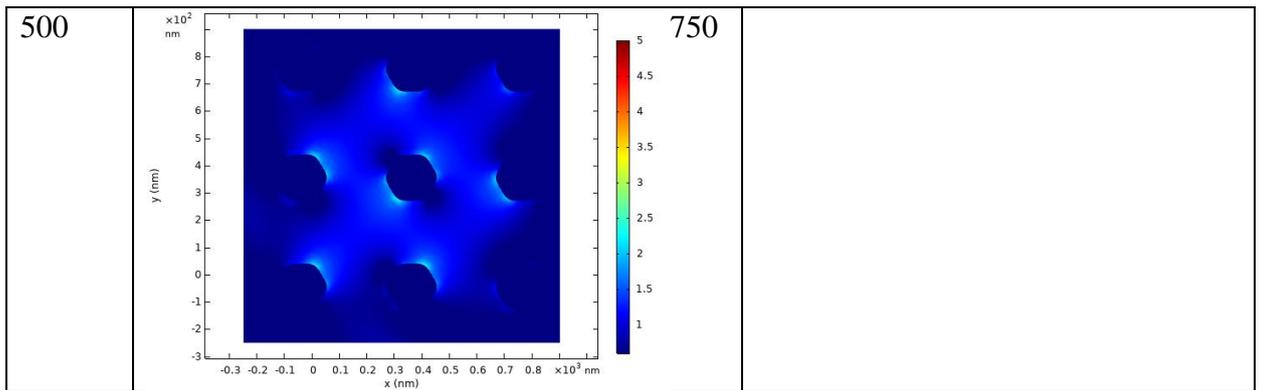
5.2 Tampak atas kedalaman 50 nm





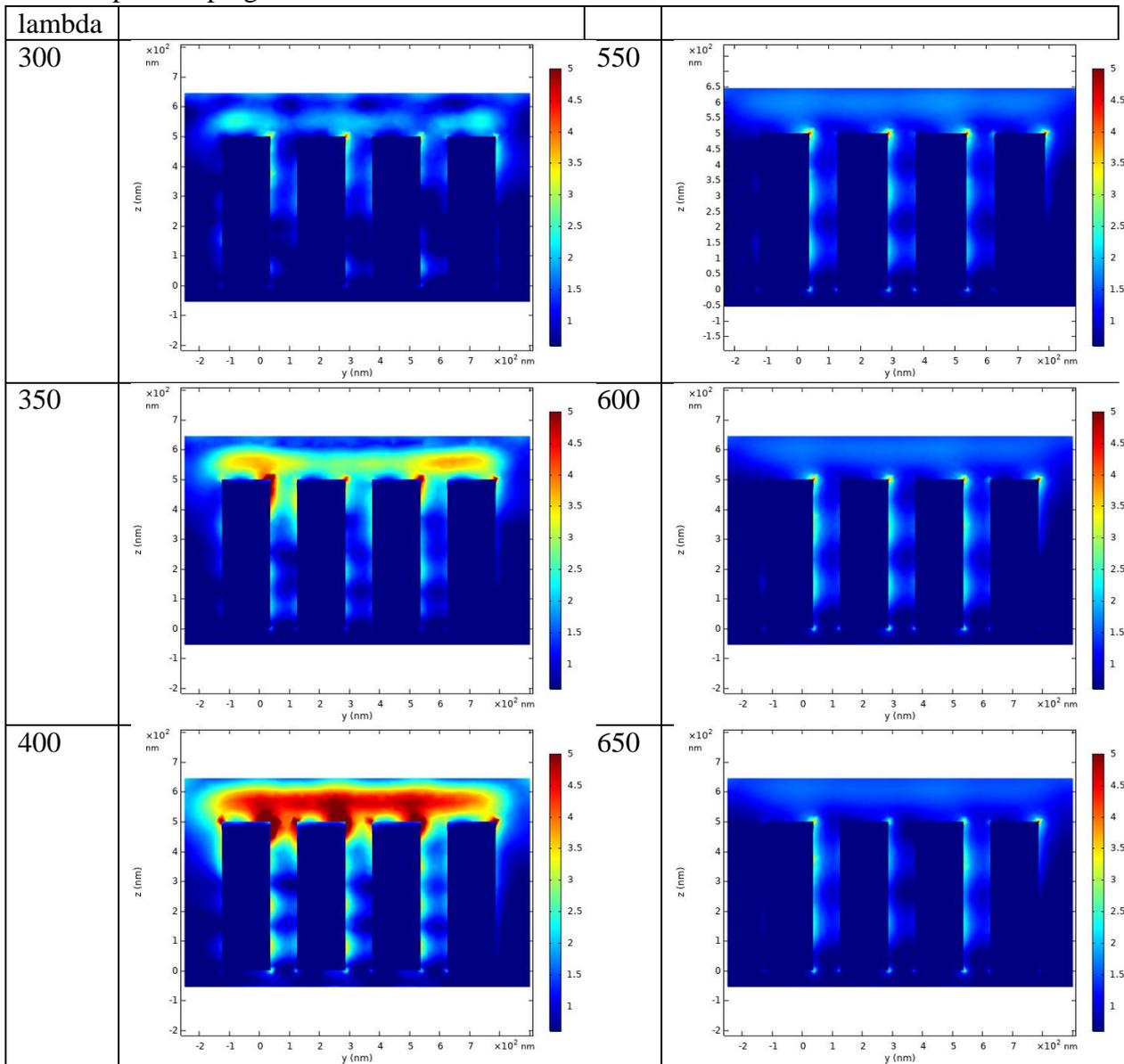
5.3 Tampak atas kedalaman 450 nm

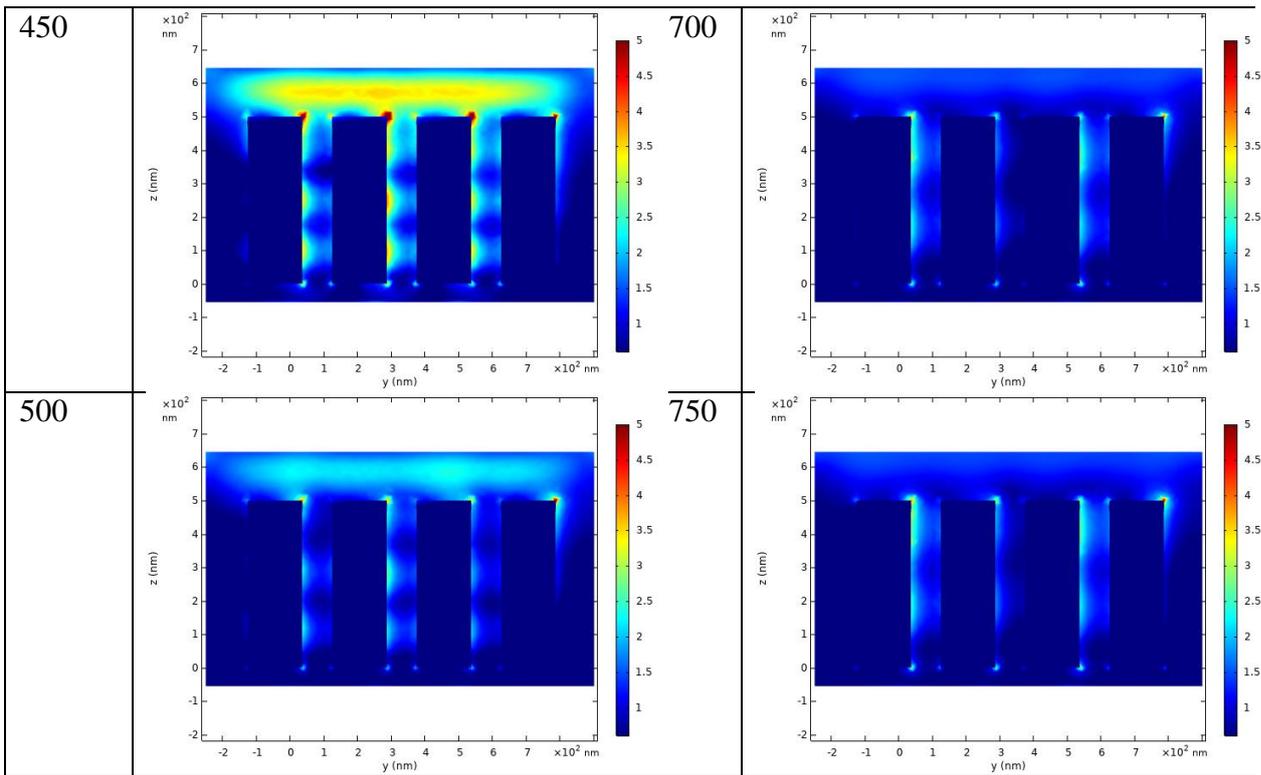




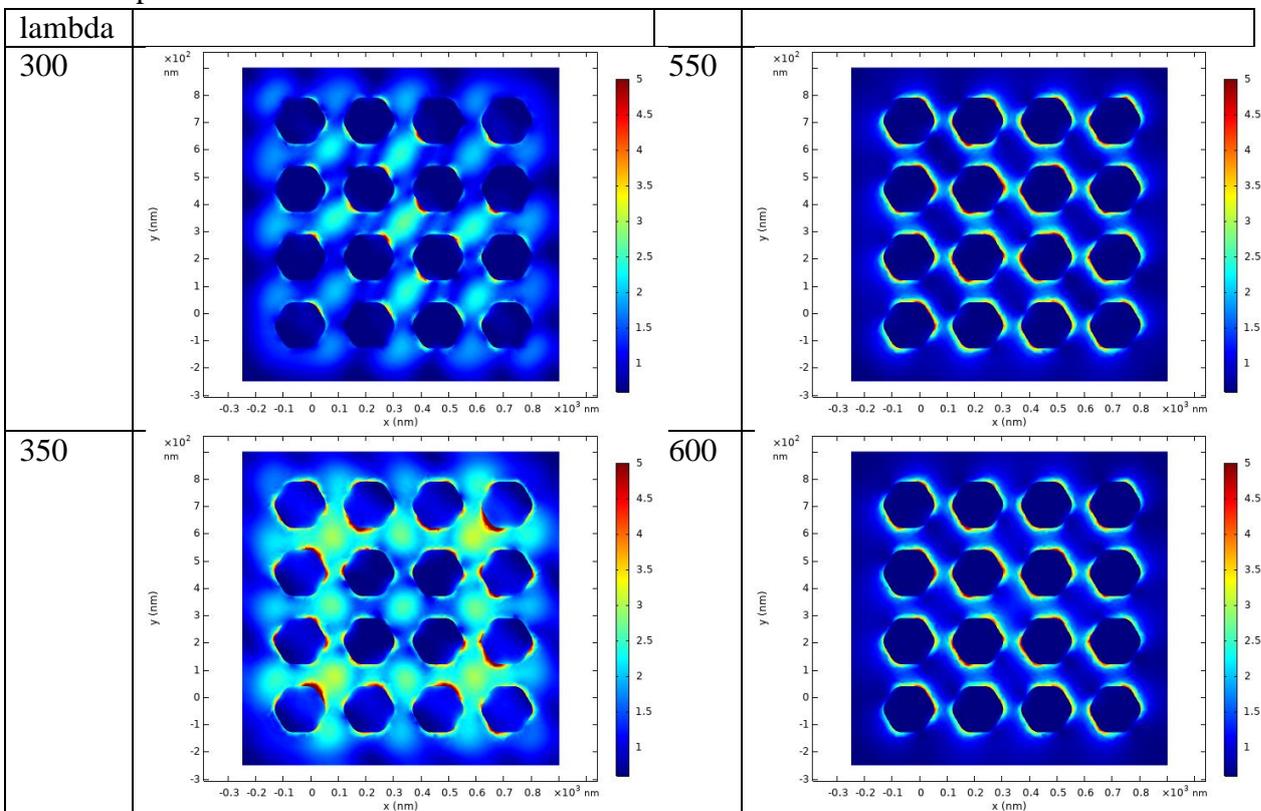
6. Darah normal array 4x4

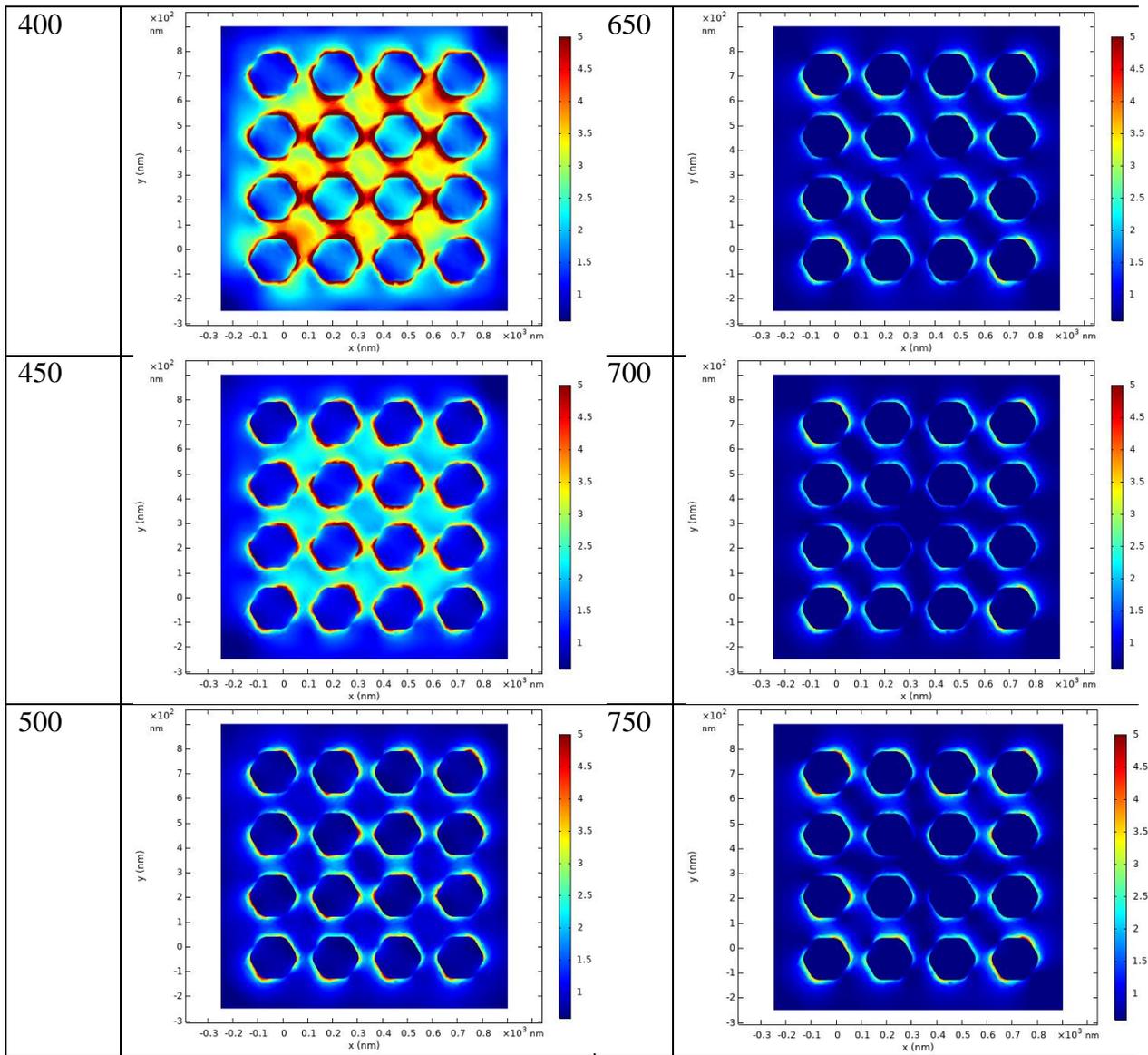
6.1 tampak samping



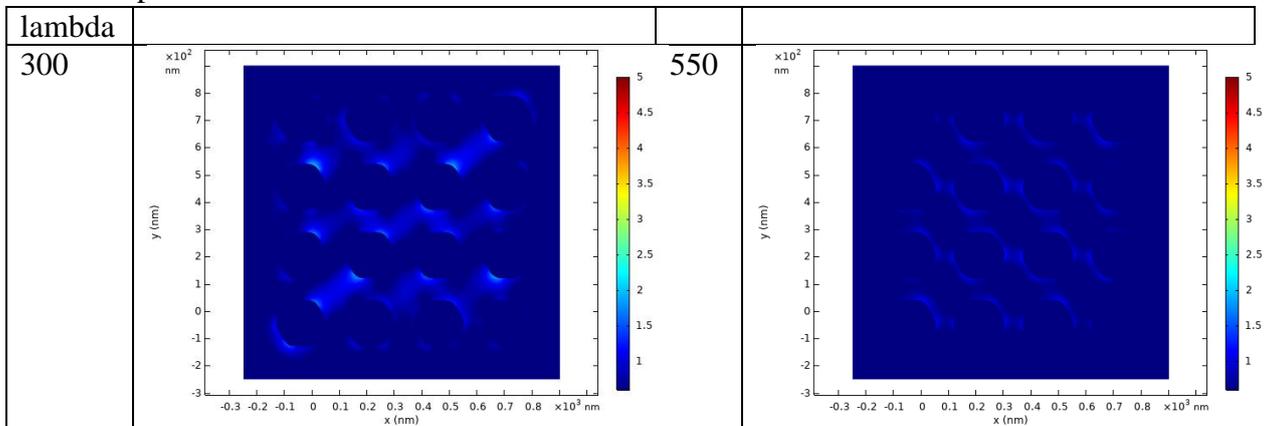


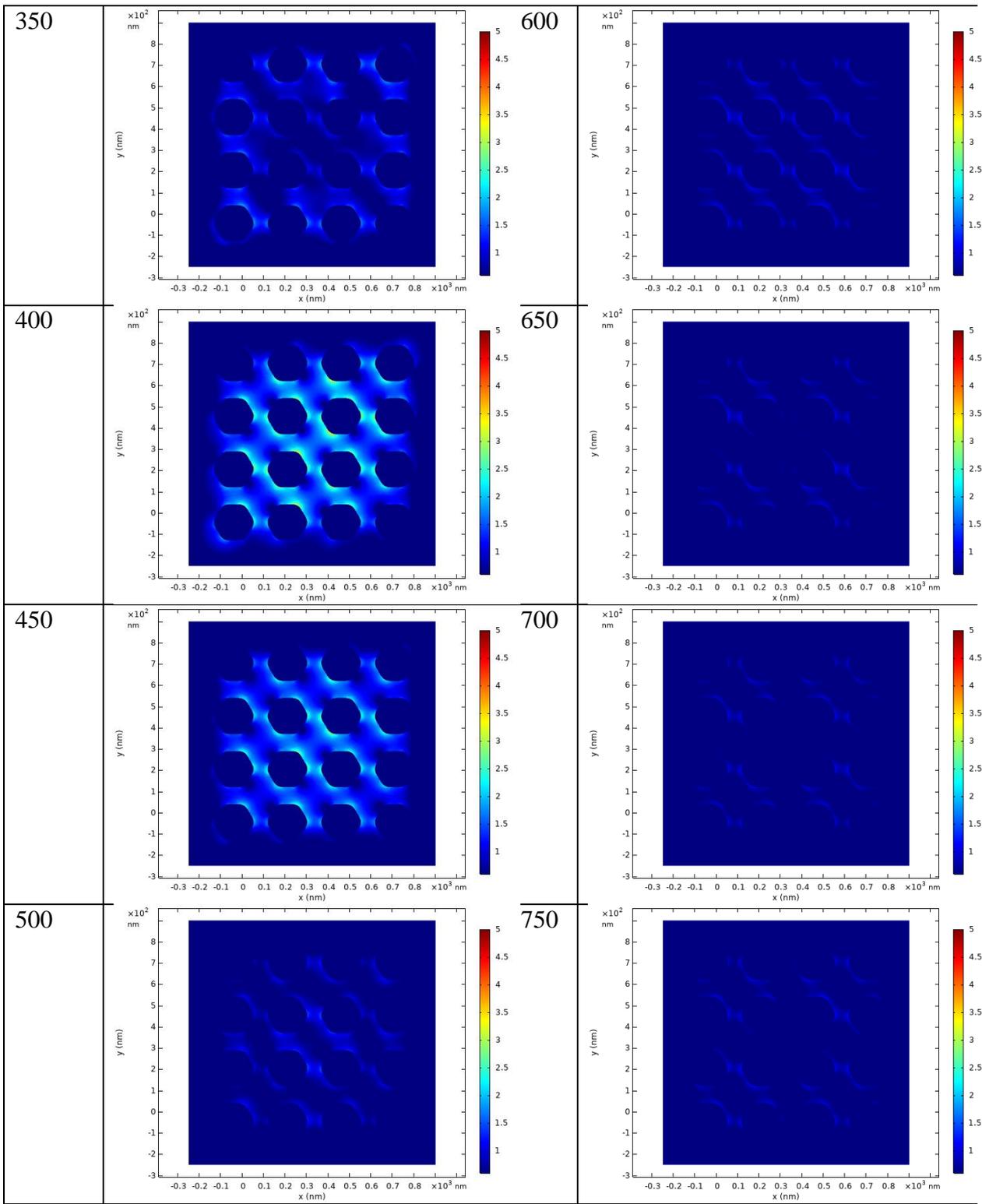
6.2 Tampak atas kedalaman 50 nm





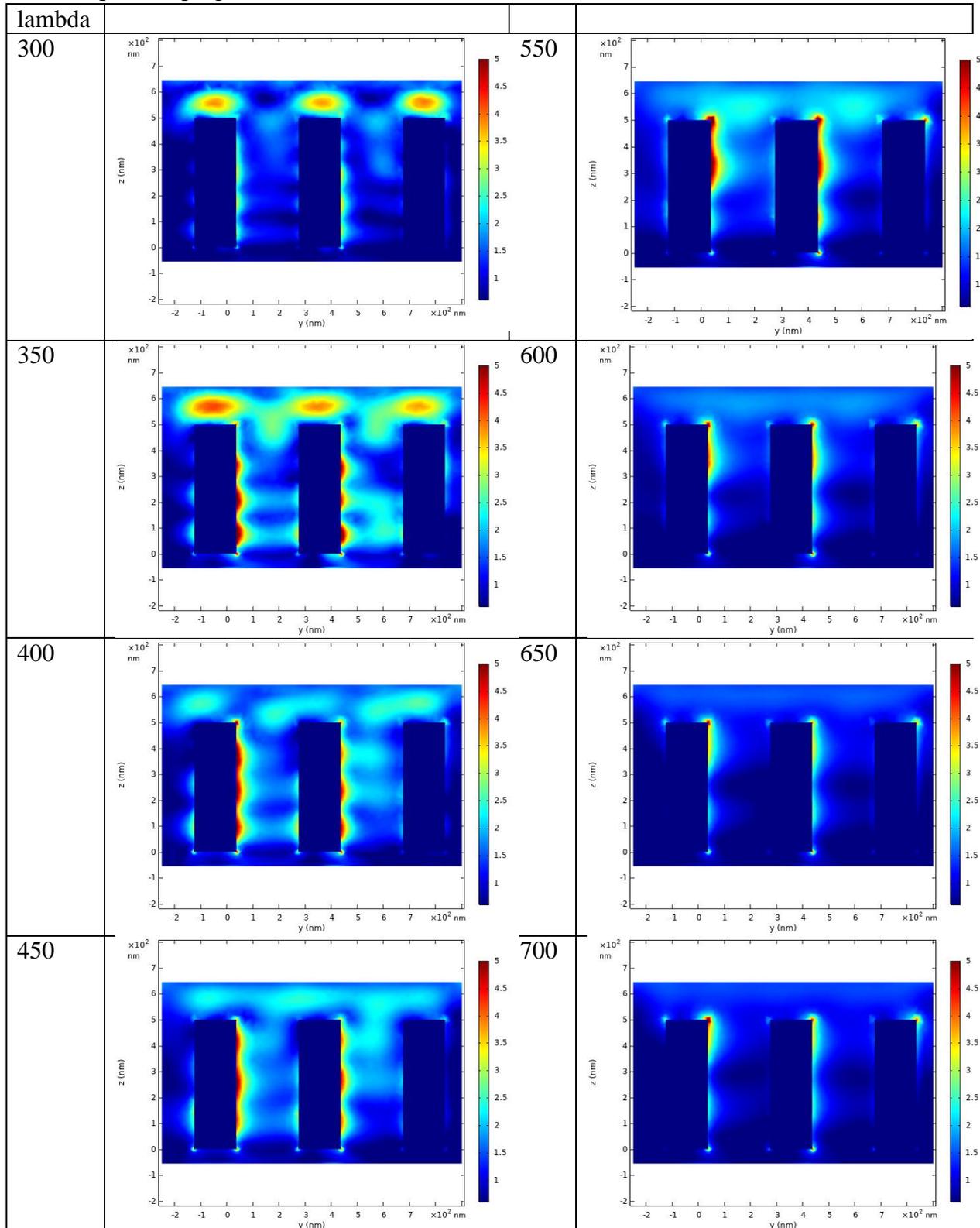
6.3 Tampak atas kedalaman 450 nm

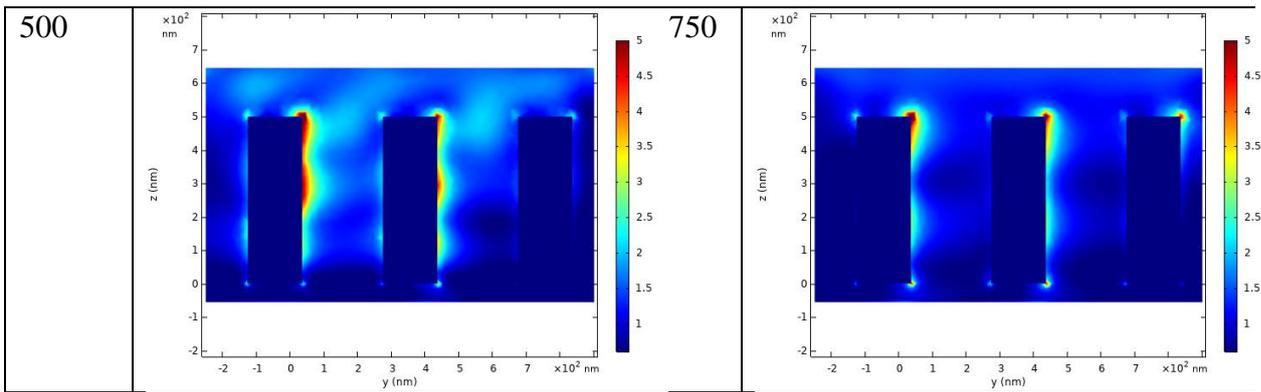




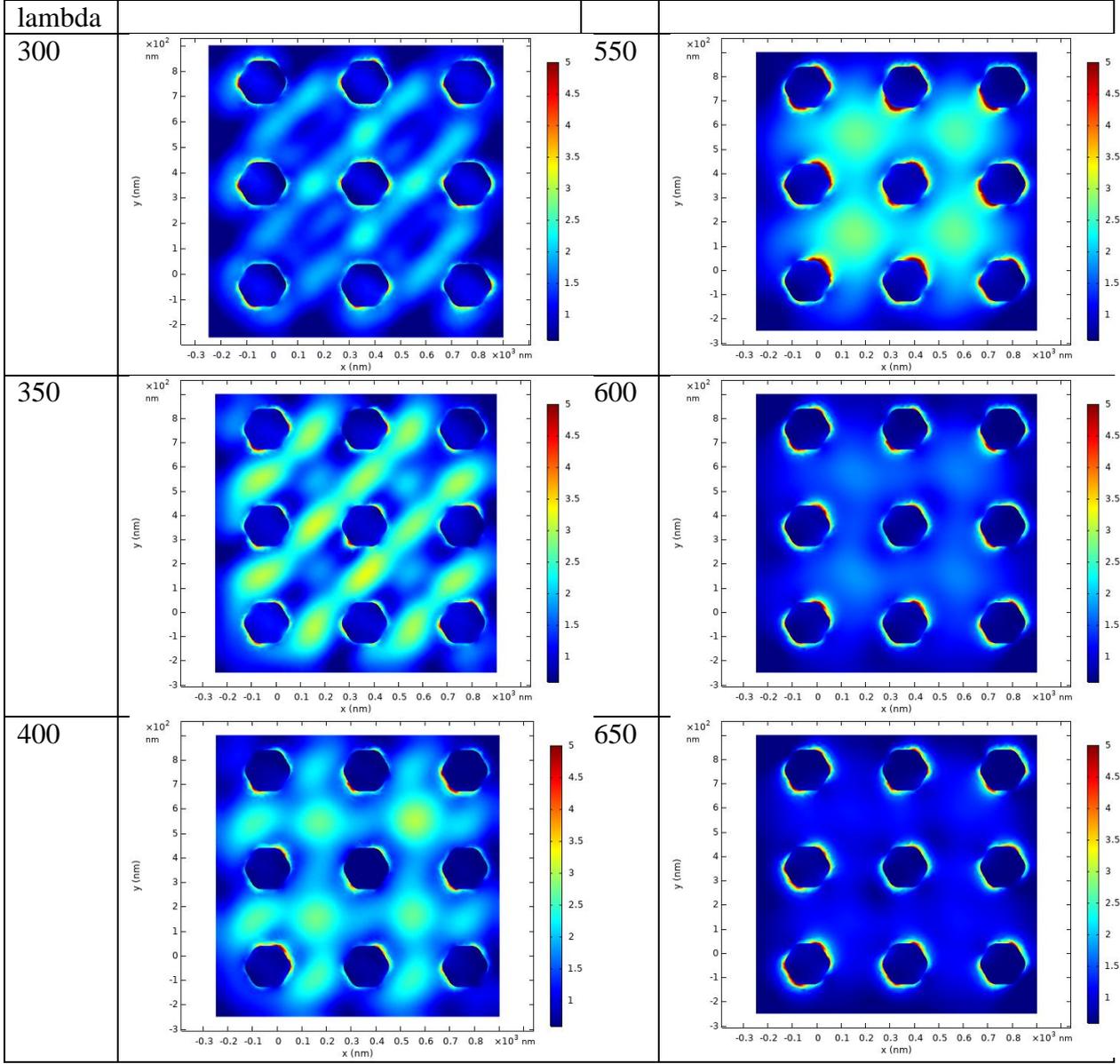
7. Darah normal array 3x3

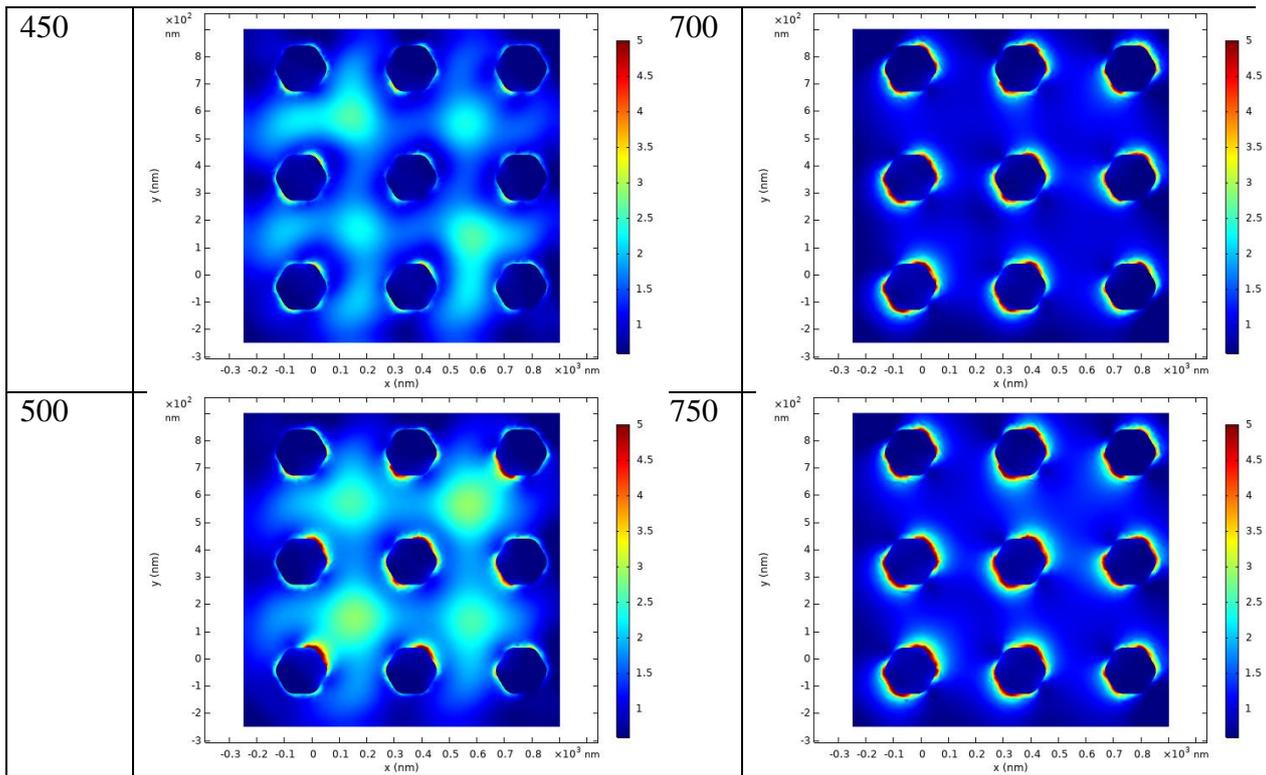
7.1 tampak samping



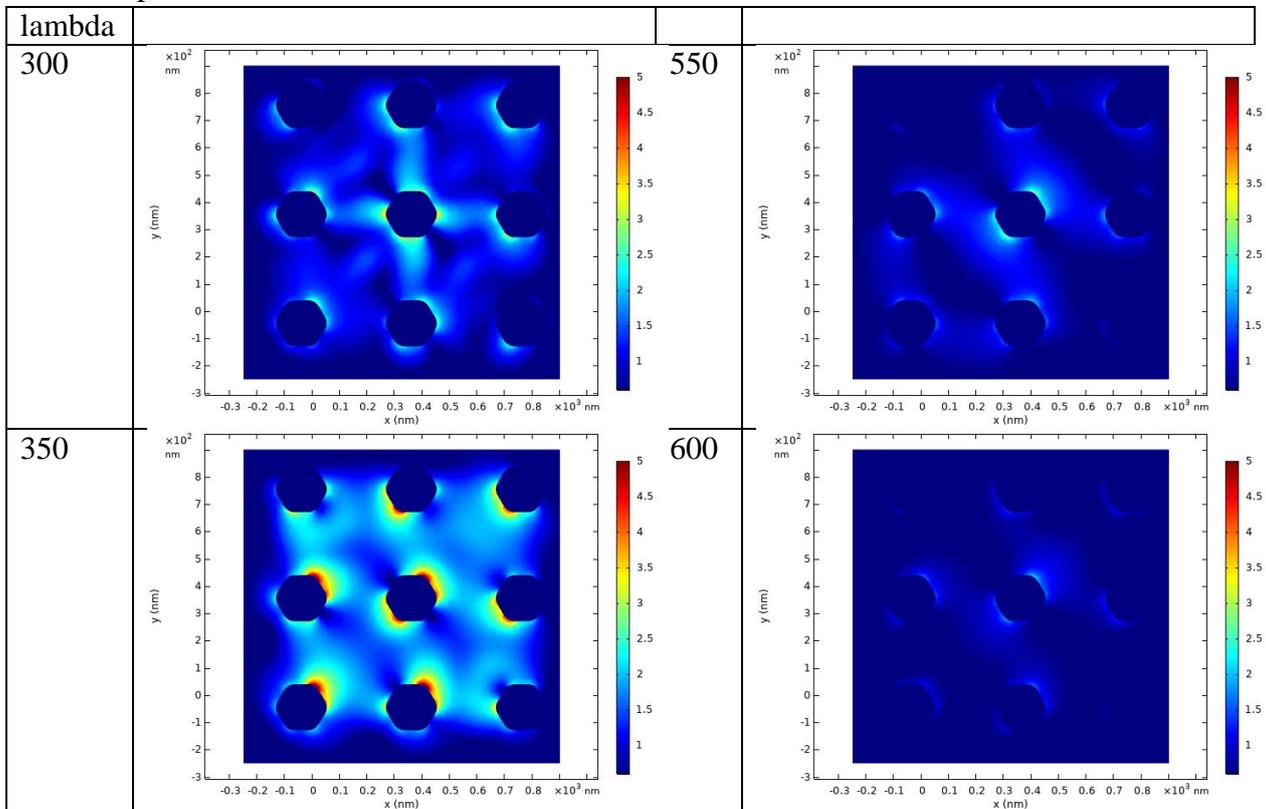


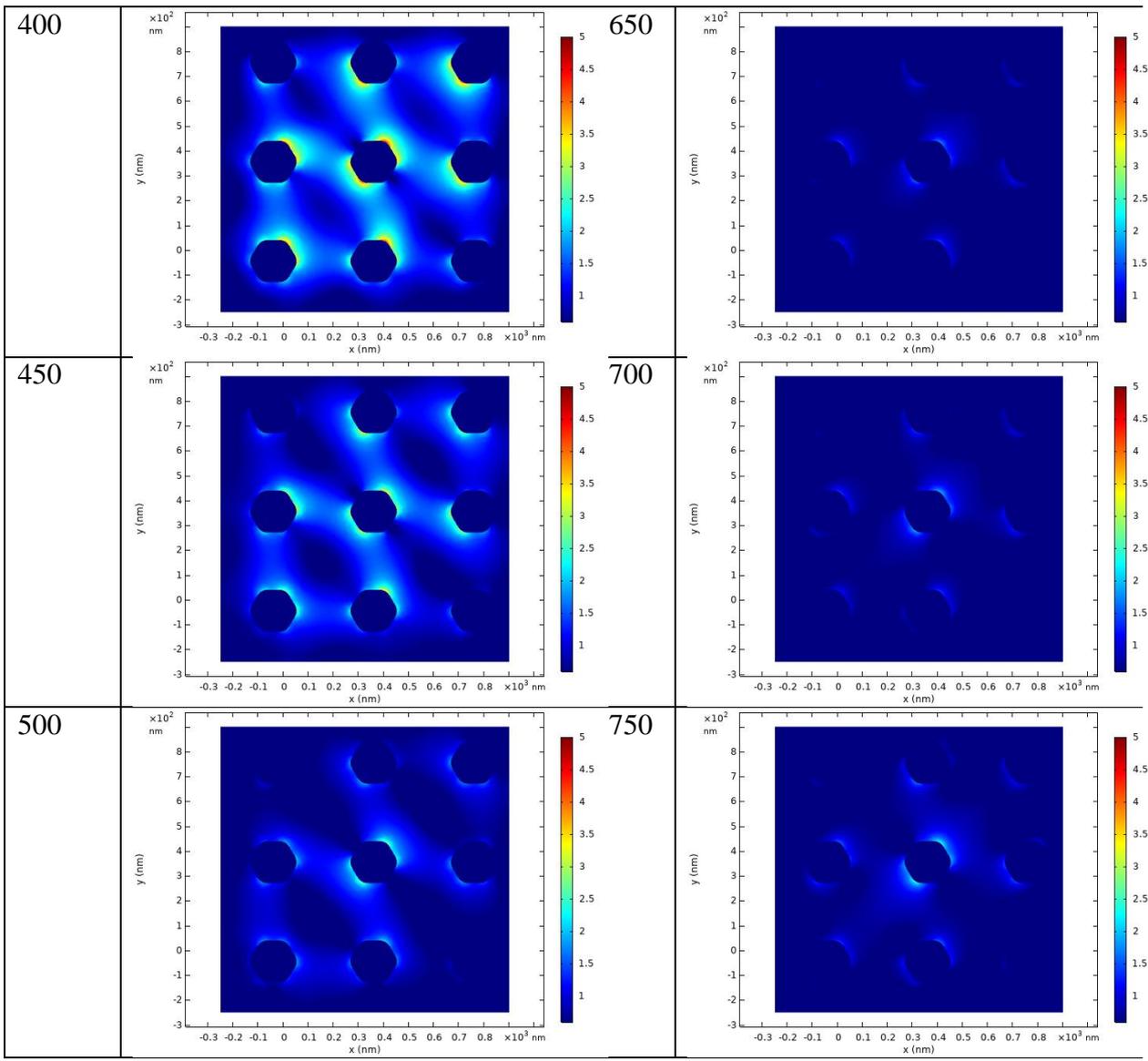
7.2 Tampak atas kedalaman 50 nm





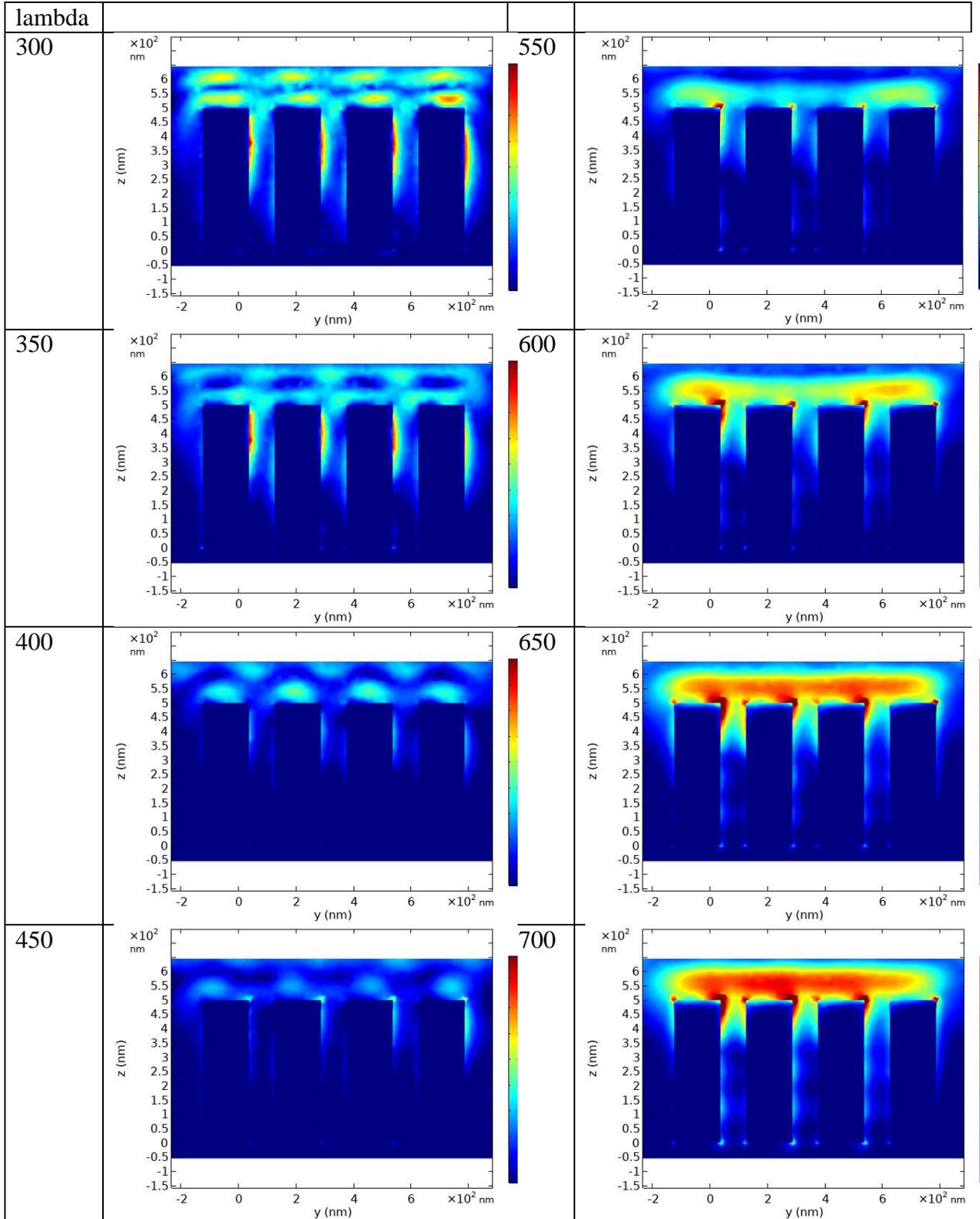
7.3 Tampak atas kedalaman 450 nm

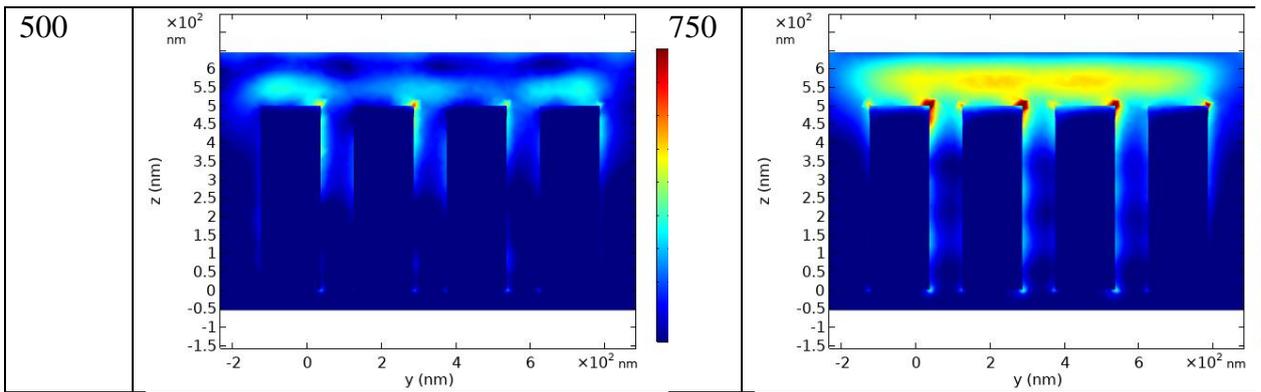




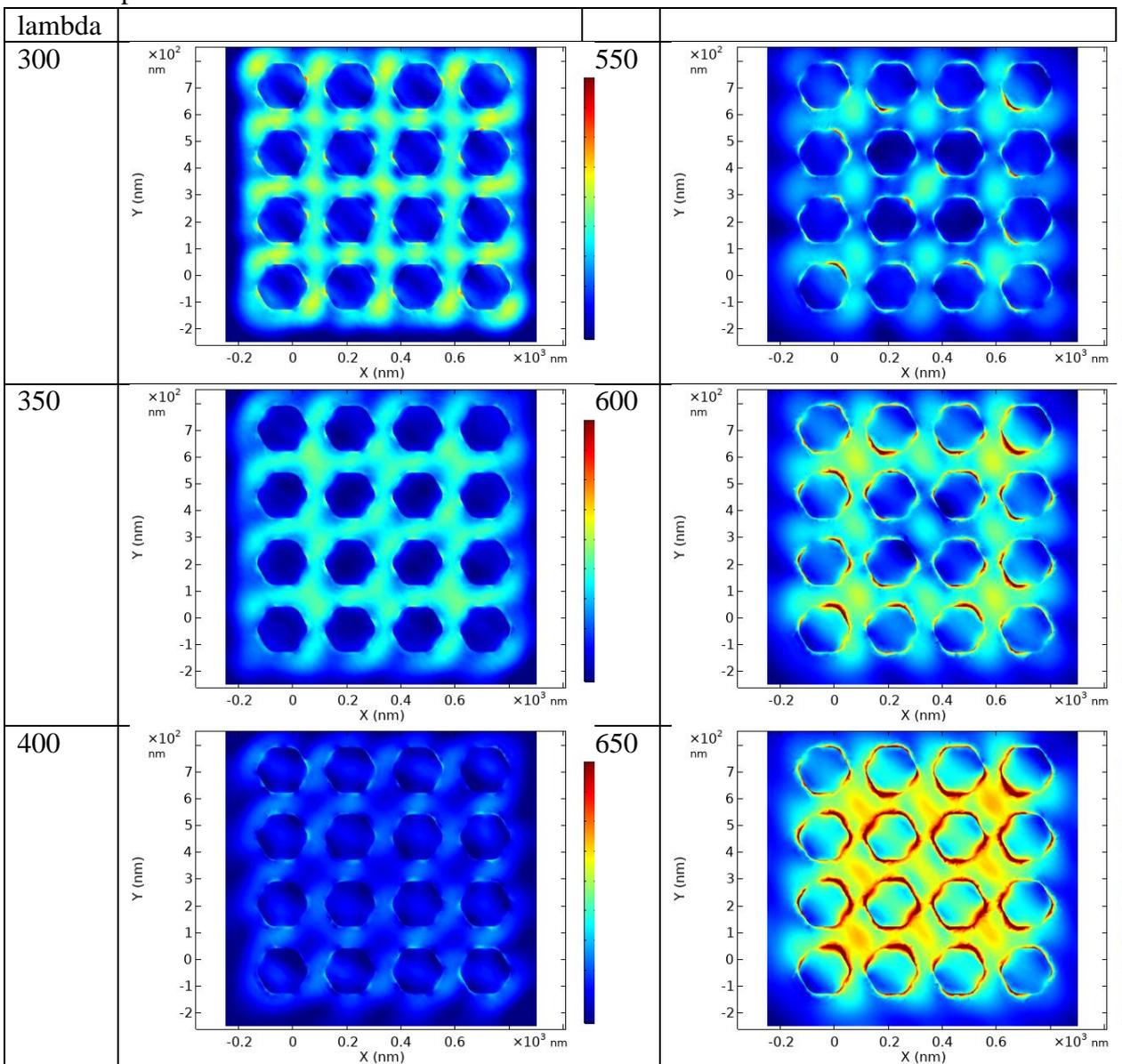
8. Hiperglikemia array 4x4

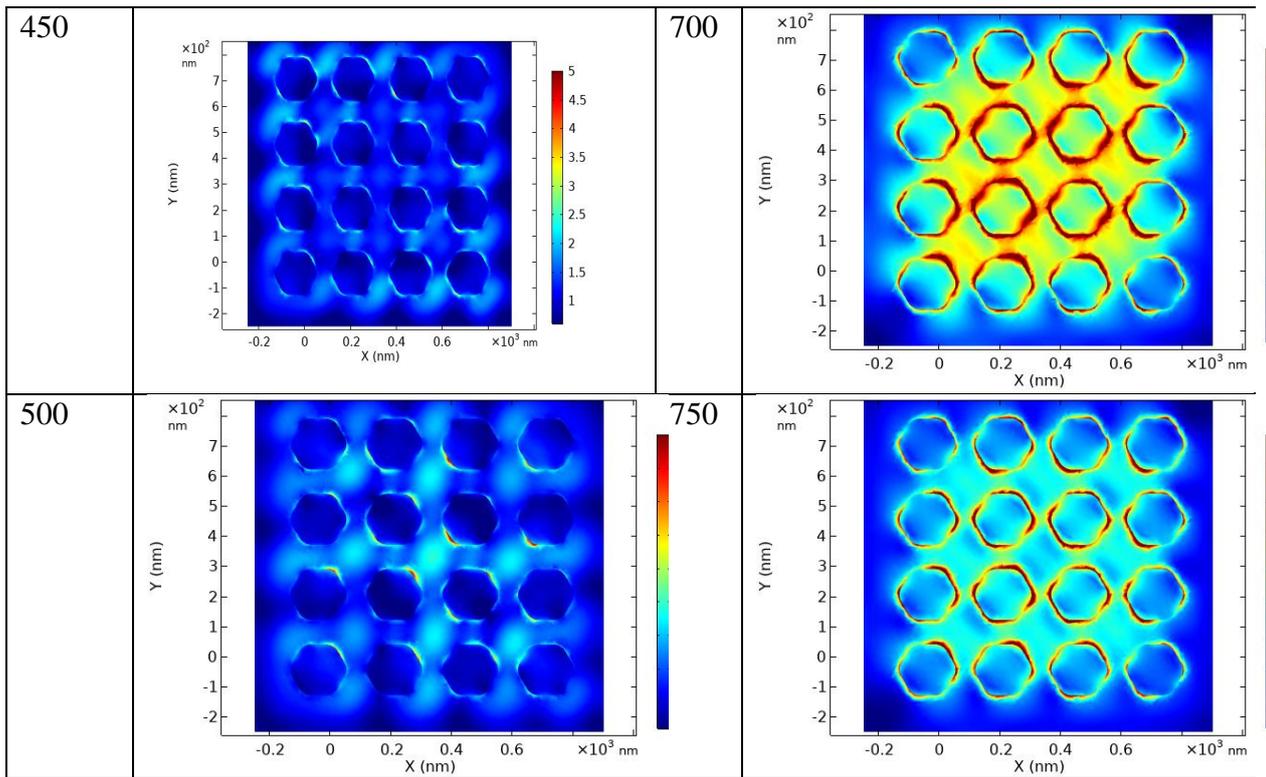
8.1 Tampak samping



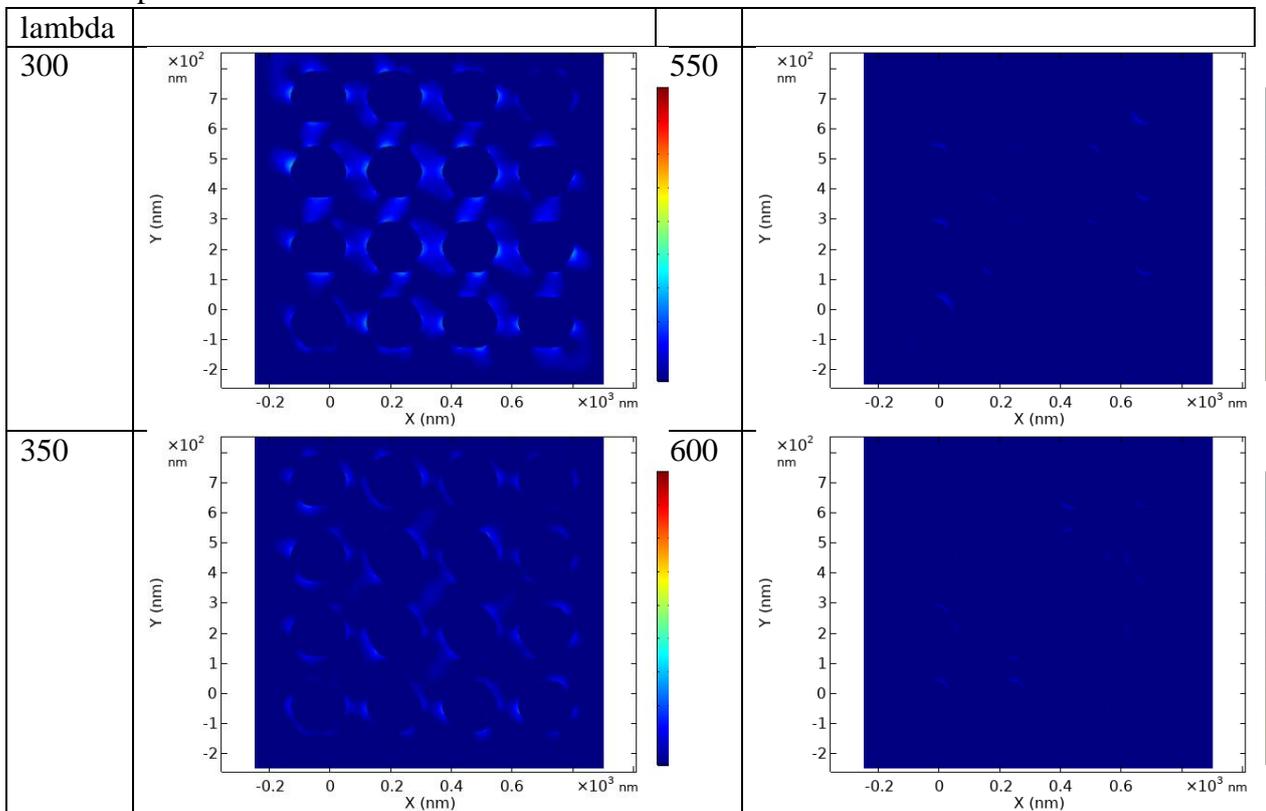


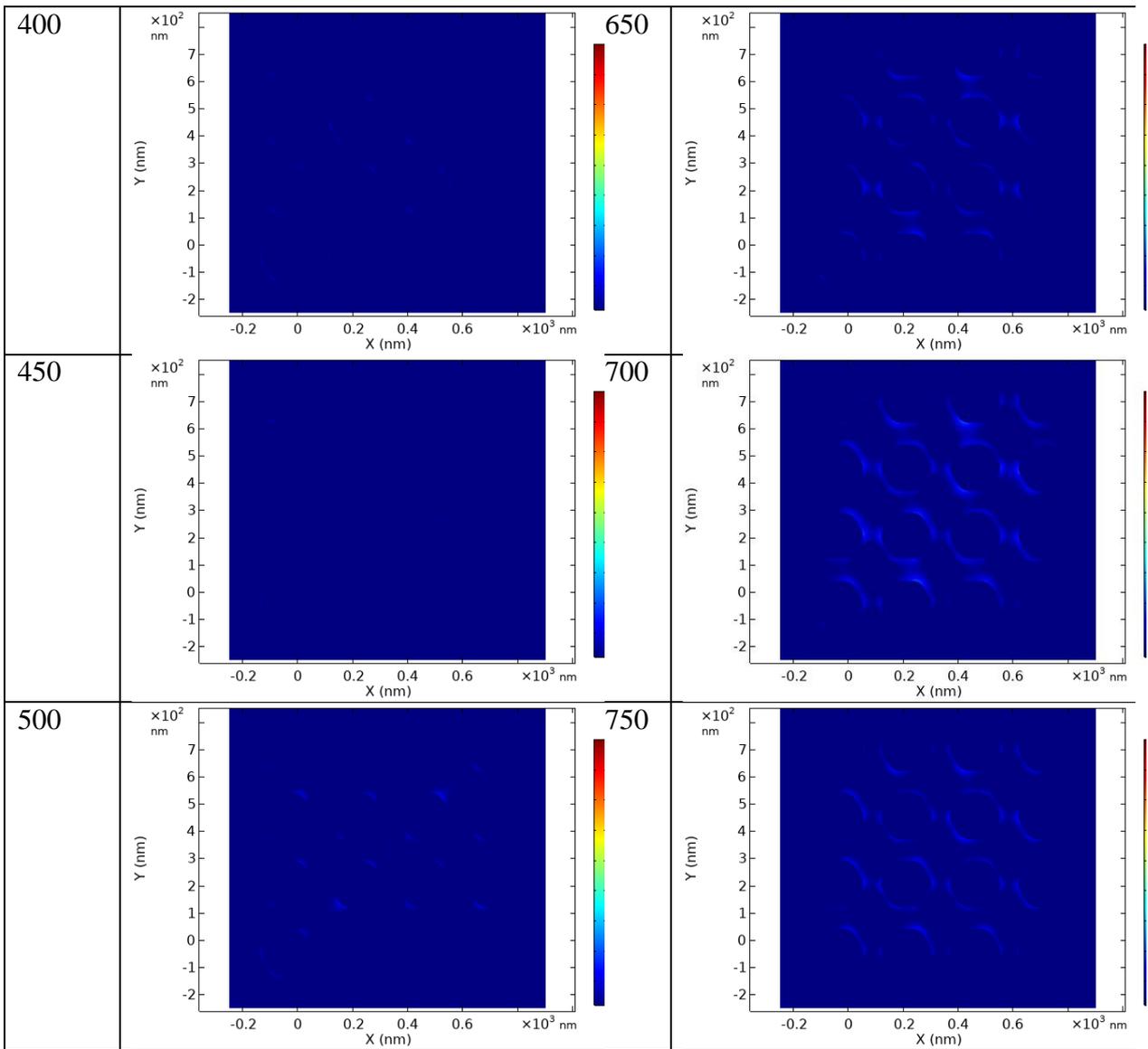
8.2 Tampak atas kedalaman 50 nm





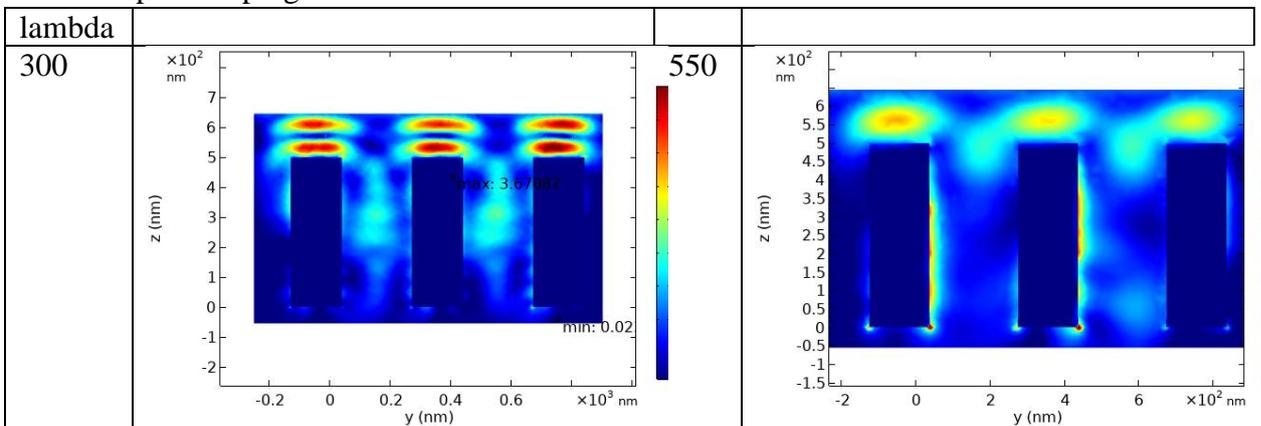
8.3 Tampak atas kedalaman 450 nm

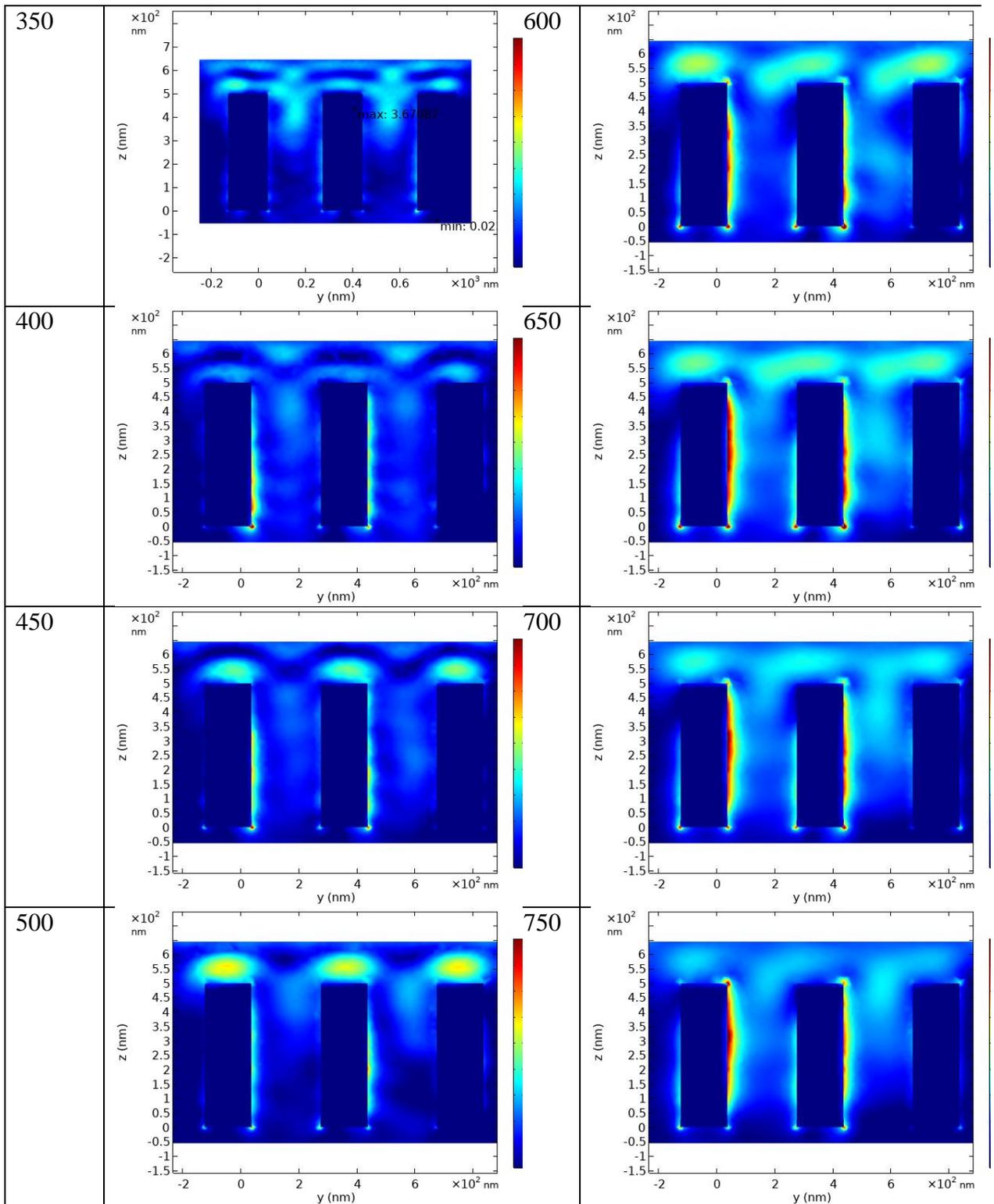




9. Hiperlikemia array 3x3

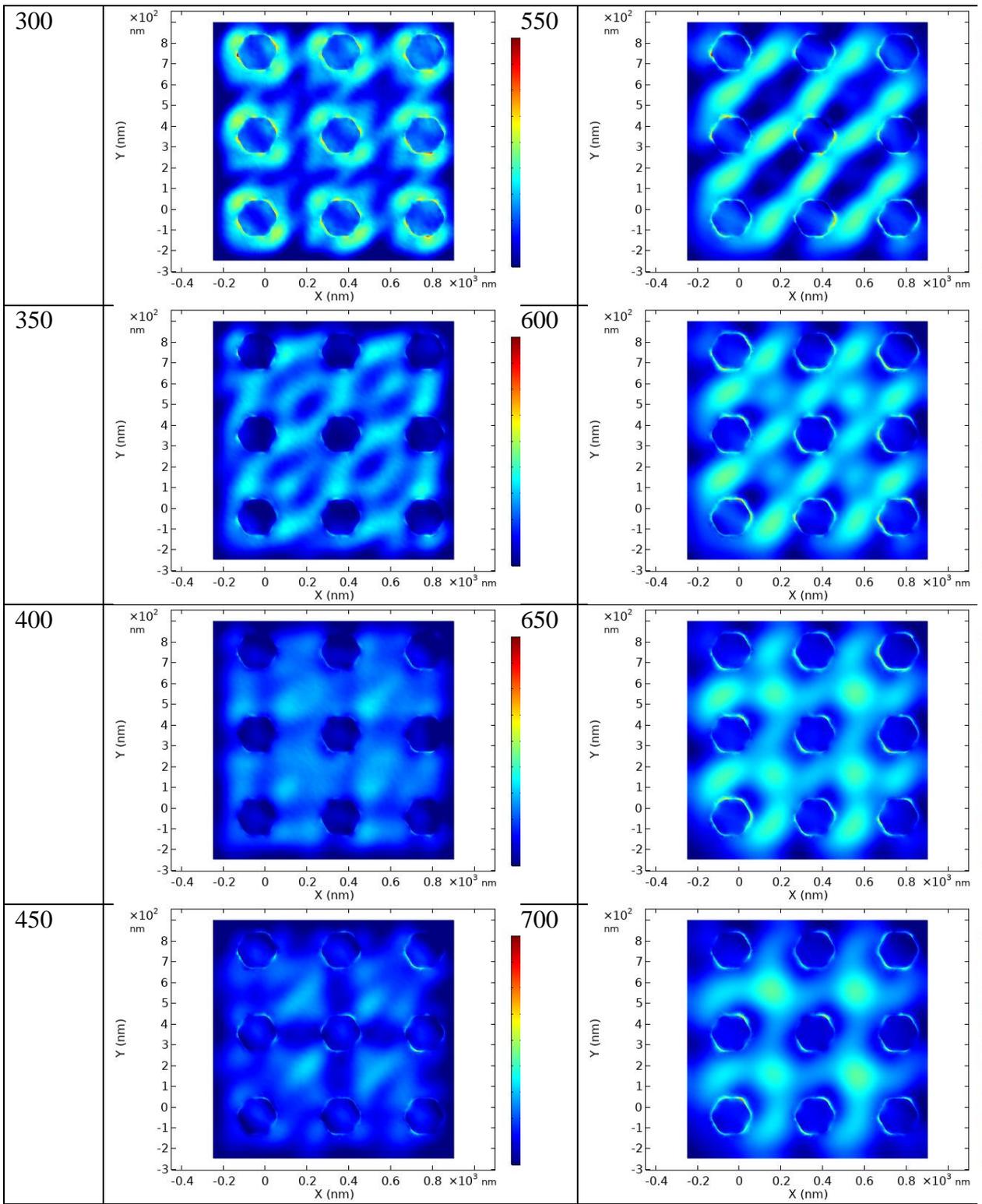
9.1 Tampak sampling

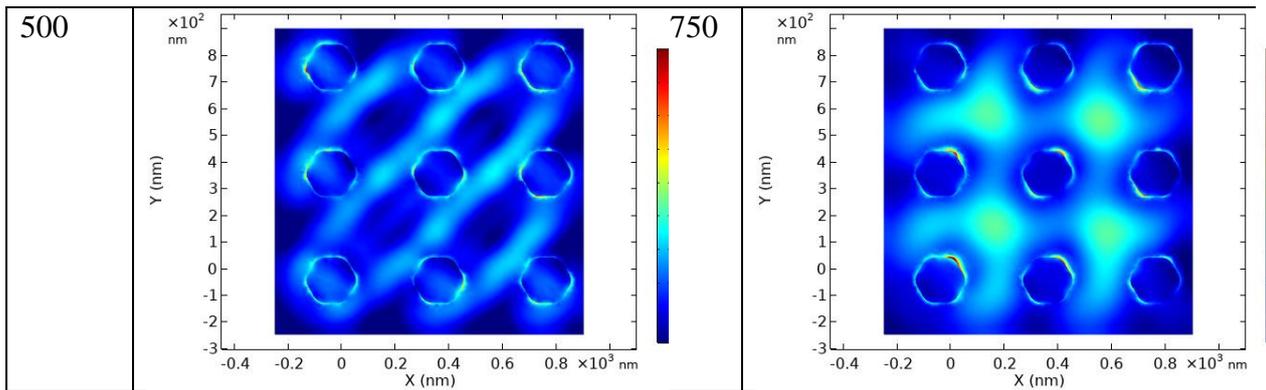




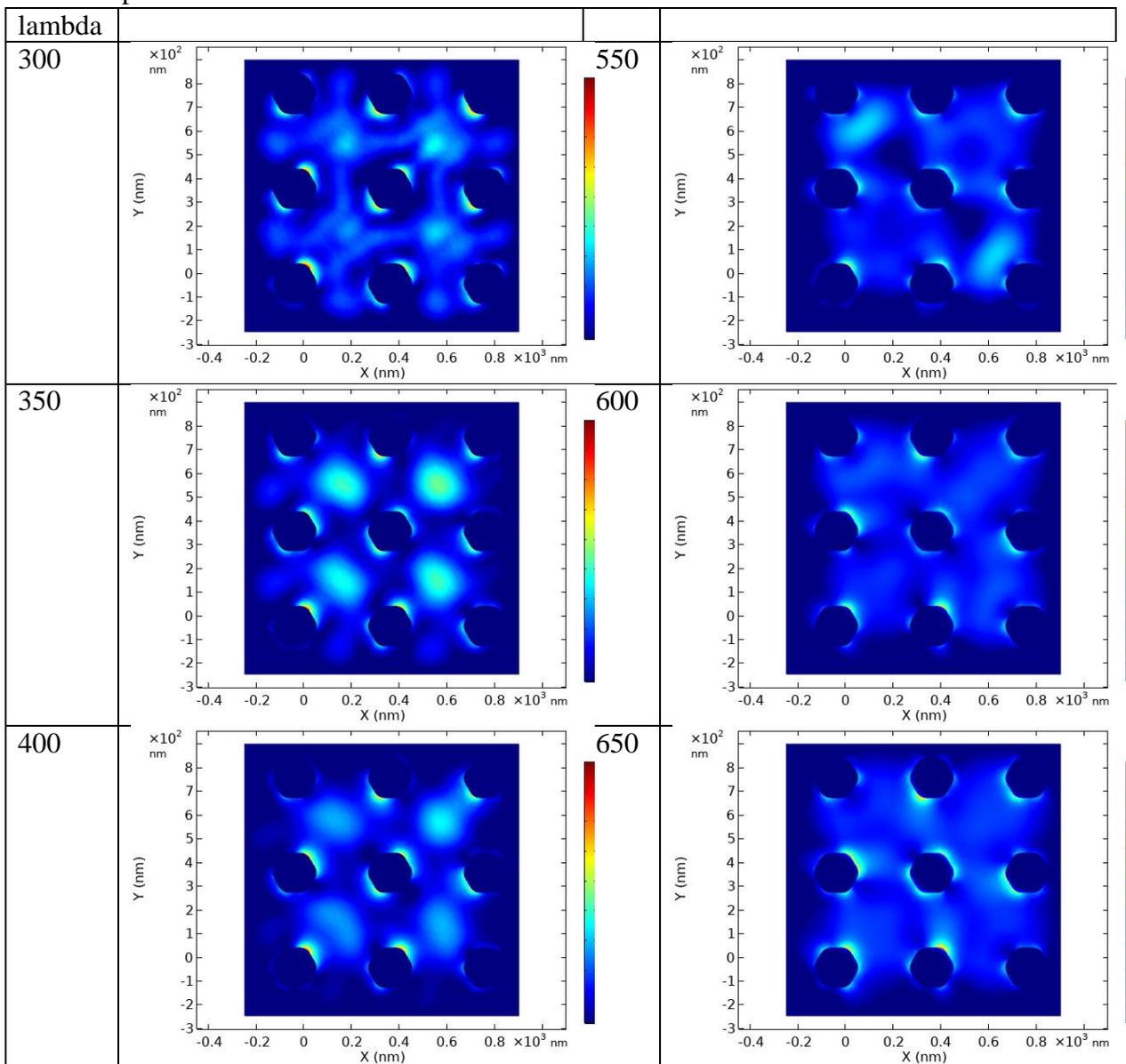
9.2 Tampak atas kedalaman 50 nm

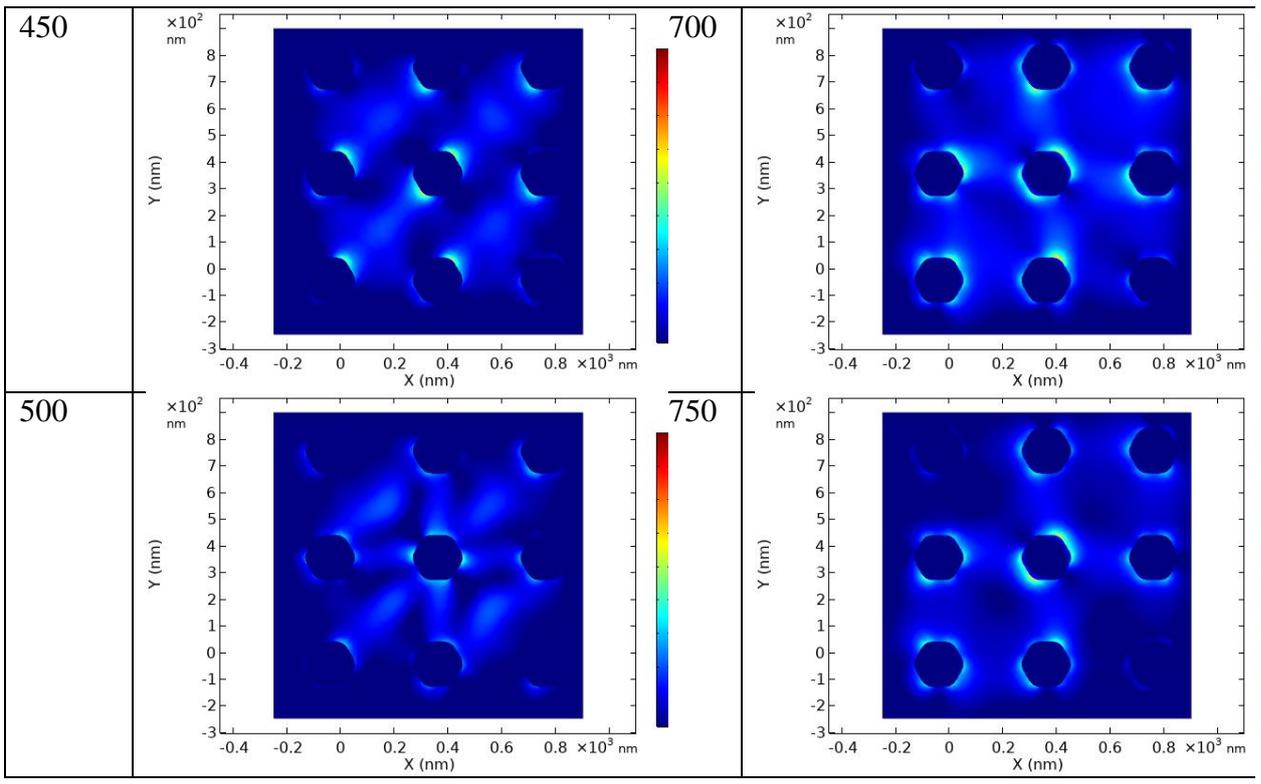
lambda			
--------	--	--	--





9.3 Tampak atas kedalaman 450 nm





BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Ahmad Ridlo Hanifudin Tahier. Penulis lahir di Lamongan 15 April 1995. Pendidikan formal yang ditempuh penulis diantaranya SDN Bedahan, SMPN 1 Babat dan MAN Babat. Kemudian melanjutkan studi di S1 Jurusan Fisika Universitas Jember.

Kemudian pada tahun 2018, penulis diterima di S2 Fisika ITS. Penulis masuk di bidang minat Fisika Medis dan Biofisika dibawah bimbingan Prof. Dr.rer.nat Agus Rubiyanto dan Dr.rer.nat. Nasori. Selama studi S2 penulis menjadi guru les LBB Master Prima Surabaya. Akhir kata, kritik dan saran yang membangun pada penelitian ini dapat dikirim melalui *email ahmad.ridlo15@gmail.com*.