

**ANALISIS KUANTUM PADA RANGKAIAN LC
DENGAN PENDEKATAN FUNGSI GELOMBANG
RADIAL PERSAMAN SCHRÖDINGER
POTENSIAL OSILATOR HARMONIK**

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh derajat Sarjana S-1

Program studi Fisika



Diajukan oleh

Muhammad Nurul Huda

11620020

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2019



PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Nomor :B-3533/Un.02/DST/PP.05.3/08/2019

Skripsi/Tugas Akhir dengan judul : Analisis Kuantum Pada Rangkaian LC Dengan Pendekatan Fungsi Gelombang Radial Persamaan Schrodinger Potensial Osilator Harmonik.

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :
Nama : Muhammad Nurul Huda
NIM : 11620020
Telah dimunaqasyahkan pada : 26 Agustus 2019
Nilai Munaqasyah : A-
Dan dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga

TIM MUNAQASYAH :

Ketua Sidang

Cecilia Yanuarief, S.Si., M.Sc.
NIP. 19840127 201503 1 001

Penguji I

Dr. Nita Handayani, S.Si., M.Si.
NIP.19820126 200801 2 008

Penguji II

Dr. Widayanti, S.Si., M.Si.
NIP. 19760526 200604 2 005

Yogyakarta, 29 Agustus 2019

UIN Sunan Kalijaga

Fakultas Sains dan Teknologi

Dekan



Dr. Agung Fatwanto, S.Si., M.Kom
NIP. 19770103 200501 1 003

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI

Hal : Persetujuan skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Muhammad Nurul Huda

NIM : 11620020

Judul Skripsi : Analisis Kuantum Pada Rangkaian LC dengan Pendekatan Fungsi Gelombang Radial Persamaan Schrödinger Potensial Osilator Harmonik

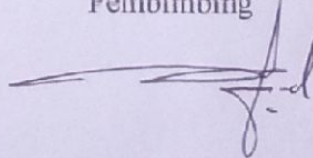
sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 24 Juli 2019

Pembimbing



Cecilia Yanuarief, M.Si.

NIP. 19840127 201503 1 001

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Nurul Huda

NIM : 11620020

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Analisis Kuantum pada Rangkaian LC Dengan Pendekatan Fungsi Gelombang Radial Persamaan Schrödinger Potensial Osilator Harmonik” merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 24 Juli 2019



Muhammad Nurul Huda
11620020

PERSEMBAHAN

Teruntuk Ibu, Ayah, dan Saudara-Saudariku

**Hj. Bunga Eja Badawi, Mustamin Bahri, Nur Rahmah,
Ismail, S.T., Nur Rahmi, S.Farm., Sri Hardiyanti**

dan untuk kawan-kawanku, para senior dan para junior di

**Gedung Biru Asrama Putra Mahasiswa Sulawesi Tengah
Yogyakarta**

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

MOTTO

“Dan sungguh akan Kami berikan cobaan kepadamu, dengan sedikit ketakutan, kelaparan, kekurangan harta, jiwa, dan buah-buahan”.

(QS. al-Baqarah: 155).

“Barangsiapa yang mengerjakan kebaikan sekecil dzarrah pun, niscaya dia akan melihat (balasan) nya. Dan barangsiapa yang mengerjakan kejahatan sekecil dzarrah pun, niscaya dia akan melihat (balasan)nya pula.”

(Q.S. Al-Zalzalah(99): 7-8)

“Bersemangatlah mencari apa yang bermanfaat untukmu, mintalah pertolongan kepada Allah, dan janganlah merasa lemah.”

(HR. Muslim no: 2664 dan Ibnu Majah no:79)

Sehingga aku memahami bahwa:

*“Ikhtiar terbaik tidak selalu disusul (disegerakan) dengan hasil yang manis, tapi **pasti** akan menikmati hasil termanis.”*

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana sains di Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta, meskipun segala keterbatasan sebagai dampak dari musibah bencana alam yang dialami orang tua, saudara, dan secara umum keluarga penulis pada tanggal 28 September 2018. Skripsi dengan judul “*Analisis Kuantum Pada Rangkaian LC dengan Pendekatan Fungsi Gelombang Radial Persamaan Schrödinger Potensial Osilator Harmonik*” ini berisi kajian teoritik terkait fenomena osilasi listrik yang dihasilkan oleh sebuah rangkaian sederhana yang tersusun atas kapasitor dan induktor yang telah mengalami *scalling* hingga mencapai ukuran semakin kecil menuju skala atomik, dan karenanya digunakan pendekatan mekanika kuantum melalui Persamaan Schrödinger potensial osilator harmonik bagian radial untuk menganalisis fenomena tersebut.

Penulis menyadari bahwa proses penyelesaian skripsi ini disertai dengan segala bantuan, bimbingan dan dukungan datang dari berbagai pihak. Oleh karenanya penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Drs. K.H. Yudian Wahyudi, M.A., Ph.D. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Dr. Murtono, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Studi Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Asih Melati, S.Si., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis.
5. Cecilia Yanuarief, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Skripsi penulis.
6. Dr. Nita Handayani, S.Si., M.Si, Dr. Widayanti, S.Si., M.Si., Frida Agung Rochmadi, M.Si., Dr. Anis Yuniati, dan seluruh dosen pengajar di program studi Fisika.

7. Hj. Bunga Eja Badawi (Ibu), Mustamin Bahri (Ayah), serta saudara-saudariku: Ismail, S.T., Nur Rahmi, S.Farm. Nur Rahma dan Sri Hardiyanti yang tidak pernah lelah untuk mendo'akan, memberi dukungan baik materi maupun moril dan memberikan motivasi untuk tetap melangkah kedepan dengan bijak dan yakin demi mencapai kesuksesan, meski dengan kemampuan terbatas akibat bencana alam 28 September 2018 silam.
8. Kawan-kawanku sesama relawan tim informasi dan data Posko Peduli Sul-Teng Yogyakarta: Sri Hartini (Ichi), Adit, Husni, Putu Hendra, Ardi, Suleman, dan Arsyad yang juga merupakan sesama mahasiswa asal Palu, Sigi, Donggala dan Parigi Moutong yang terdampak bencana alam pada 28 September 2018 silam, yang tetap saling mendukung dan saling memberikan semangat di saat-saat sulit namun tetap bergerak bersama untuk menolong korban bencana alam yang tidak lain adalah orang tua, keluarga, dan teman-teman kami, serta membantu 678 pelajar dan mahasiswa saudara kami yang berasal dari daerah yang sama dan sedang menempuh studi di Yogyakarta.
9. Lalu Saiful Arif dan Moh. Adi Mukti selaku sahabat yang senantiasa bersedia jadi teman diskusi sekaligus teman berbagi saran dan nasihat bagi penulis, serta senantiasa memberikan dukungan moril bagi penulis.
10. Bang Jalil, Bang Somad, Is, Nomo, Bima, Wawan, Tiar, serta seluruh sahabat satu atap penulis di gedung biru Asrama Putra Mahasiswa Sulawesi Tengah Yogyakarta.
11. Agung Laksana, S.Si., Alfin Nur Iman, S.Si., Hari Takwan Santoso, S.Si., dan seluruh kawan Fisika 2011 Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Penulis memanjatkan do'a kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* supaya selalu melindungi dan menjaga orang-orang tersebut dan pihak-pihak yang telah berkontribusi dalam kehidupan penulis. Penulis juga menerima dengan terbuka atas kritik dan saran untuk kemajuan penulis selanjutnya. Penulis berharap Skripsi ini dapat memberi manfaat bagi para pembacanya.

Yogyakarta, 24 Juli 2019

Penulis

ANALISIS KUANTUM PADA RANGKAIAN LC DENGAN PENDEKATAN FUNGSI GELOMBANG RADIAL PERSAMAAN SCHRÖDINGER POTENSIAL OSILATOR HARMONIK

Muhammad Nurul Huda
11620020

INTISARI

Telah dilakukan analisis teoritik pada rangkaian LC dengan kapasitor dan induktor penyusunnya memiliki ukuran (dimensi) yang sangat kecil, yaitu dengan kapasitansi dan induktansi rangkaian yang memiliki nilai yang sangat kecil (berorde 10^{-18} satuan). Era nanoteknologi mengharuskan ukuran IC (*Integrated Circuit*) mengalami reduksi secara signifikan, sehingga meniscayakan ukuran komponen penyusunnya, seperti transistor, kapasitor dan induktor juga akan mengalami reduksi ukuran secara signifikan hingga menuju skala atomik. Analisis secara teoritik ini dilakukan atas dasar hipotesis bahwa tidak hanya energi elektromagnetik yang tersimpan dalam rangkaian LC terkuantisasi dalam bentuk *foton*, namun rangkaian LC yang disusun dari kapasitor dan induktor berukuran atomik juga akan menampilkan sekumpulan fenomena probabilistik yang direpresentasi oleh fungsi gelombang dalam mekanika kuantum. Rangkaian LC memperlihatkan fenomena osilasi arus listrik rangkaian dan muatan kapasitor, sehingga rangkaian LC dianalogikan sebagai osilator harmonik kuantum. Pemilihan potensial sentral tiga dimensi sebagai potensial osilator harmonik yang realistis meniscayakan persamaan Schrödinger potensial osilator harmonik dinyatakan menggunakan sistem koordinat bola dan mengalami separasi variabel sedemikian rupa sehingga diperoleh persamaan differensial orde dua bagian radial dan bagian angular dengan solusi masing-masing adalah fungsi gelombang radial dan fungsi gelombang angular. Persamaan energi osilator harmonik memiliki bentuk serupa dengan persamaan energi elektromagnetik rangkaian LC, sehingga sejumlah variabel dan *observable operator* dari persamaan energi osilator harmonik dapat dianalogikan dengan sejumlah variabel dan *observable operator* dari persamaan energi elektromagnetik rangkaian LC. Analogi tersebut digunakan ketika melakukan substitusi variabel pada fungsi gelombang radial persamaan Schrödinger potensial osilator harmonik menjadi fungsi gelombang rangkaian LC. Hasil visualisasi fungsi gelombang rangkaian LC untuk enam level energi terendahnya menggambarkan sebaran rapat probabilitas dan probabilitas terbesar terjadinya induktansi pada kondisi tertentu muatan kapasitor, yang bervariasi seiring dengan variasi level energi dan bilangan kuantum orbital.

Kata kunci: Rangkaian LC, osilator harmonik, persamaan Schrödinger, rapat peluang, sebaran rapat peluang, peluang terbesar, induktansi, muatan kapasitor

QUANTUM ANALYSIS IN LC CIRCUIT WITH RADIAL WAVEFUNCTION APPROACH FROM SCHRÖDINGER EQUATION FOR HARMONIC OSCILLATOR POTENTIAL

Muhammad Nurul Huda
11620020

ABSTRACT

Theoretical analysis about LC circuit with very tiny capacitor and inductor, i.e very small value of capacitance and inductance (10^{-18} order), have been done. In nanotechnology period, Integrated Circuit (IC) must be undergo reduction in dimension significantly so that the transistor, capacitor, and inductor dimensions will soon approach atomic scale. This theoretical analysis is based from a hypothesis that not only electromagnetic energy stored in LC circuit is quantized in photon, but also the LC circuit with that capacitor and inductor have a set of probabilistic phenomena which represent by quantum mechanics wavefunction. LC circuit show oscillation of electric current as well as charge in capacitor, so that LC circuit is consider as quantum harmonic oscillator. Central potentials in three dimensions as the realistic potential have been choosen so that the Schrödinger Equation with harmonic oscillator potential have been written in spherical coordinate and solved by variable separation such that the second order differential equation for radial part and angular part are obtained with radial wavefunction and angular wavefunction as the solution, respectively. Harmonic oscillator energy equation has the same form as electromagnetic energy in LC circuit equation so that some variable and observable operator in harmonic oscillator energy equation can be analogous to electromagnetic energy in LC circuit. The analogy is used when the variable in radial wavefunction is substituted to get the LC circuit wavefunction. Visualization of LC circuit wavefunction for the six lowest energy level tell the probability density distribution and maximum probability to get inductance for certain charge in capacitor, varies with energy levels and orbital quantum number.

Keywords: LC Circuit, harmonic oscillator, Schrödinger equation, probability density, probability density distribution, maximum probability, inductance, charge in capacitor

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
PERSEMBAHAN	v
MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
INTISARI	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR SIMBOL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Studi Pustaka	5
2.2. Landasan Teori	8
2.2.1. Inspirasi dari Al-Qur'an	8
2.2.2. Fenomena Osilasi pada Rangkaian LC	10
2.2.3. Sistem Partikel di Bawah Pengaruh Potensial Sentral Osilator Harmonik	14
2.2.4. Kuantisasi Resonator Listrik	14
2.2.5. Tinjauan Mekanika Kuantum pada Potensial Sentral	16
2.2.6. Persamaan Schrödinger Potensial Osilator Harmonik Bagian Radial .	20
2.2.7. Metode Nikiforov-Uvarov	21
2.2.8. Penerapan Metode NU pada Persamaan Schrödinger Potensial Osilator Harmonik Bagian Radial	26

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	36
3.2. Bahan Kajian	36
3.3. Instrumentasi Penelitian	36
3.4. Prosedur Penelitian	37
3.5. Metode Analisis Data	38
3.6. Diagram Alir Penelitian	39
3.7. Diagram Alir Program Visualisasi	40

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Bentuk Matematis Fungsi Gelombang Rangkaian LC	41
---	----

4.2.	Visualisasi Fungsi Gelombang Rangkaian LC	43
4.3.	Makna Fisis Fungsi Gelombang Rangkaian LC	49
4.4.	Pembahasan Integrasi-Interkoneksi	52

BAB V PENUTUP

5.1.	Kesimpulan	53
5.2.	Saran	54
DAFTAR PUSTAKA		55



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Similaritas letak sejumlah variabel pada persamaan (2.9) dan persamaan (2.10).....	16
Tabel 3.1	Persamaan matematis yang digunakan sebagai bahan kajian	36
Tabel 4.1	Fungsi Gelombang Rangkaian LC berkeadaan khusus untuk Enam Level Energi Terendah	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mekanisme osilasi arus dan muatan serta transfer energi antara medan magnetik pada induktor dan medan listrik pada kapasitor rangkaian LC (Young dan Freedman, 2016)....	11
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 3.2	Diagram Alir Program Visualisasi	40
Gambar 4.1	Sebuah kapasitor fisik dengan kapasitansi 100 μF	44
Gambar 4.2	Visualisasi fungsi gelombang rangkaian LC $R_{00}(Q)$ dengan input nilai kapasitansi dan induktansi yang relatif besar	44
Gambar 4.3	Variasi muatan kapasitor rangkaian LC selama satu periode untuk $L = 100 \times 10^{-18} \text{ H}$ dan $C = 10 \times 10^{-18} \text{ F}$	46
Gambar 4.4	Fungsi gelombang rangkaian LC pada $n_r = 4$	47
Gambar 4.5	Fungsi gelombang rangkaian LC pada $n_r = 5$	47
Gambar 4.6	Fungsi gelombang rangkaian LC pada $\ell = 0$	48
Gambar 4.7	Fungsi gelombang rangkaian LC pada $\ell = 1$	48
Gambar 4.8	Rapat peluang rangkaian LC pada $n_r = 4$	50
Gambar 4.9	Rapat peluang rangkaian LC pada $n_r = 5$	50
Gambar 4.10	Rapat peluang rangkaian LC pada $\ell = 0$	51
Gambar 4.11	Rapat peluang rangkaian LC pada $\ell = 1$	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Aplikasi Fungsi Gelombang Rangkaian LC	
	Berkeadaan Khusus	57
Lampiran 2	Listing Program Pembuatan Visualisasi Fungsi Gelombang	
	Rangkaian LC dan Probabilitas Menggunakan	
	MatLab R2013a	64
Lampiran 3	Visualisasi Fungsi Gelombang Rangkaian LC	
	Berkeadaan Khusus	68
Lampiran 4	Visualisasi Probabilitas Rangkaian LC Berkeadaan Khusus ..	72

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR SIMBOL

C	Kapasitansi kapasitor
$\hat{H}$	Operator <i>Hermitean</i> energi osilator harmonik
L	Besar induktansi induktor pada rangkaian LC
$\hat{L}_n^{\ell+\frac{1}{2}}(r)$	Polinomial <i>Laguerre</i> dari $R_{n,\ell}(r)$
$\hat{L}_n^{\ell+\frac{1}{2}}(Q)$	Polinomial <i>Laguerre</i> dari $R_{n,\ell}(Q)$
m	Massa benda pada sistem osilator harmonik
n_r	Bilangan kuantum utama
$\hat{p}$	Operator <i>Hermitean</i> momentum osilator harmonik
Q	Besar muatan kapasitor rangkaian LC yang bervariasi terhadap waktu
$\hat{Q}$	Operator <i>Hermitean</i> muatan kapasitor rangkaian LC
Q_m	Muatan maksimum kapasitor pada rangkaian LC
$\hat{r}$	Operator <i>Hermitean</i> jarak sentral partikel dalam potensial osilator harmonik
$R_{n,\ell}(r)$	Fungsi gelombang radial persamaan Schrödinger potensial osilator harmonik pada keadaan khusus n_r dan ℓ
$R_{n,\ell}(Q)$	Fungsi gelombang rangkaian LC pada keadaan khusus n_r dan ℓ
$ R_{n,\ell}(Q) ^2$	Probabilitas rangkaian LC pada keadaan khusus n_r dan ℓ
t	Waktu (variabel bebas Q)
$\hat{U}$	Operator <i>Hermitean</i> energi total sistem rangkaian LC
ΔV	Beda potensial di antara kedua konduktor dalam kapasitor ketika kapasitor terisi penuh (<i>fully charged</i>)
$\hat{\Phi}_B$	Operator <i>Hermitean</i> fluks magnetik induktor rangkaian LC
ℓ	Bilangan kuantum orbital
ω	Frekuensi angular osilator harmonik
$\psi_n(x)$	Fungsi gelombang persamaan Schrödinger potensial osilator harmonik satu dimensi pada keadaan khusus (bilangan kuantum) n
$ \psi_n(x) ^2$	Probabilitas fungsi gelombang osilator harmonik satu dimensi pada keadaan khusus (bilangan kuantum) n
$\hbar$	Konstanta <i>Planck</i> ($1,054 \times 10^{-34}$ J·s)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Teknologi terus mengalami perkembangan dari tahun ke tahun, dari rangkaian listrik dengan konfigurasi kabel yang kompleks menuju rangkaian listrik terpadu (*integrated circuit*, IC). Saat ini, hampir semua gawai elektronik (*gadget*) seperti *smartphone*, komputer, GPS, tablet, dan lain-lain menggunakan IC karena lebih kompak dan lebih efisien. Pada era nanoteknologi seperti saat ini, para ilmuwan terus berupaya melakukan perubahan ukuran (*scalling*) pada berbagai *gadget* serta setiap teknologi yang memungkinkan menuju skala nano tanpa mengurangi efisiensi teknologi itu. Upaya *scalling* terutama dilakukan terhadap IC sehingga mencapai ukuran (dimensi) berskala nano, yang kemudian disebut sebagai *nano circuit*. *Smartwatch* merupakan salah satu *gadget* yang dihasilkan menggunakan teknologi ini (Ritcher, 2013). Pada akhirnya, semua perangkat elektronik akan semakin *portable*.

Osilator listrik merupakan komponen osilator *radio frequency* yang dimanfaatkan pada IC radio, televisi, komputer dan peralatan komunikasi. Osilator listrik menggunakan kapasitor dan induktor sebagai piranti penyusunnya. Oleh karenanya osilator listrik - dengan beda potensial resistansi yang dapat diabaikan karena bernilai relatif sangat kecil dibandingkan dengan beda potensial kapasitor dan induktor - sering disebut rangkaian LC. Fenomena osilasi pada muatan kapasitor dan arus listrik rangkaian terjadi pada rangkaian LC. Oleh karenanya,

analisis pada rangkaian LC menggunakan pendekatan sistem berpotensi osilator harmonik. Penerapan teknologi *nano circuit* melalui upaya *scaling* berdampak pada pengurangan ukuran IC secara signifikan, dan meniscayakan ukuran kapasitor dan induktor yang semakin kecil. Ketika kapasitor dan induktor mencapai ukuran atomik, maka sifat probabilistik kedua piranti tersebut akan terlihat. Penggunaan keduanya pada rangkaian LC juga akan menampilkan sekumpulan fenomena yang bersifat probabilistik. Dengan demikian, selain energi elektromagnetik yang dihasilkan rangkaian LC terkuantisasi dalam bentuk *foton*, performa rangkaian LC yang disusun dari piranti berukuran atomik itu akan didominasi oleh efek kuantum, sehingga analisis rangkaian LC jenis ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan sistem berpotensi osilator harmonik kuantum.

Osilator harmonik kuantum ditinjau berdasarkan jenis potensial yang digunakan, antara lain potensial satu dimensi, potensial dua dimensi dan potensial tiga dimensi (potensial sentral). Dari ketiga jenis potensial tersebut, potensial sentral (*central potential*) merupakan potensial yang realistis (*the realistic potential in physics*). Potensial sentral akan memiliki bentuk yang lebih sederhana jika dinyatakan sebagai fungsi jarak secara radial, yang berarti nilainya tidak bergantung pada arah polar dan azimuth. Sifat tersebut mirip dengan nilai resistansi kabel pada rangkaian, yaitu tidak dipengaruhi oleh arah kabel, melainkan salah satunya dipengaruhi oleh panjang kabel. Penerapan persamaan Schrödinger pada sistem berpotensi sentral osilator harmonik akan memiliki penyelesaian matematis yang relatif lebih mudah jika didahului dengan melakukan separasi variabel, sehingga diperoleh persamaan Schrödinger bagian radial dan bagian angular dengan solusi

masing-masing persamaan adalah fungsi gelombang radial dan fungsi gelombang angular (Berkdemir, 2012). Dari hasil separasi variabel tersebut, hanya persamaan bagian radial yang didalamnya terdapat potensial osilator harmonik, sehingga fungsi gelombang radial dijadikan pendekatan untuk menjelaskan sekumpulan keadaan probabilistik pada rangkaian LC yang tersusun dari piranti kapasitor dan induktor berukuran atomik.

Berdasarkan berbagai hal yang telah diungkapkan tersebut, maka penulis terinspirasi untuk melakukan penelitian dengan judul “**Analisis Kuantum Rangkaian LC dengan Pendekatan Fungsi Gelombang Radial Persamaan Schrödinger Potensial Osilator Harmonik**”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis mengangkat beberapa masalah antara lain :

1. Jika fungsi gelombang radial persamaan Schrödinger potensial osilator harmonik diaplikasikan pada rangkaian LC, bagaimana bentuk visualisasinya?
2. Apa makna fisis dari fungsi gelombang radial persamaan Schrödinger potensial osilator harmonik terapan pada rangkaian LC?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menampilkan bentuk visualisasi fungsi gelombang radial persamaan Schrödinger potensial osilator harmonik terapan pada rangkaian LC.

2. Mengungkap makna fisis dari fungsi gelombang radial persamaan Schrödinger potensial osilator harmonik teraplikasi pada rangkaian LC.

1.4. Batasan Masalah

Analisis Rangkaian LC dengan pendekatan Fungsi Gelombang Radial Potensial Osilator Harmonik ini kita batasi pada :

1. Beda potensial di antara kedua konduktor kapasitor saat kondisi *fully charged* didefinisikan memiliki nilai tertentu, tidak bergantung pada geometri konduktor tersebut (keping sejajar, silinder, bola).
2. Bentuk lintasan kabel pada rangkaian LC adalah berupa lintasan lurus, bukan solenoida.
3. Fungsi gelombang radial persamaan Schrödinger potensial osilator harmonik merupakan fungsi gelombang tidak ternormalisasi ($N_{nl} = 1$).
4. Penggunaan bilangan kuantum n_r dan ℓ pada fungsi gelombang dibatasi pada $0 \leq n_r \leq 6$.

1.5. Manfaat Penelitian

Nanoteknologi dan era teknologi setelahnya meniscayakan penggunaan piranti penyusun IC yang semakin mendekati ukuran atomik, sehingga efek kuantum yang ditunjukkan oleh sifat probabilistik piranti penyusun IC yang semakin nampak akan semakin mempengaruhi performa perangkat elektronik. Oleh karenanya, mekanika kuantum semakin menjadi kebutuhan sekaligus sebagai pintu pertama untuk memasuki wilayah sains dan teknologi terdepan (*frontier*).

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan semua penjelasan mengenai hasil analisis rangkaian LC dengan pendekatan fungsi gelombang radial persamaan Schrödinger potensial osilator harmonik, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Visualisasi fungsi gelombang rangkaian LC $R_{n_r\ell}(Q)$ menghasilkan grafik kontinu eksponensial jika nilai input kapasitansi dan induktansi cukup kecil (berorde 10^{-18} satuan). Untuk variasi bilangan kuantum orbital ℓ dengan n_r yang sama, kenaikan ℓ menyebabkan dua hal: 1) pengurangan jumlah simpangan pada fungsi gelombang, dan 2) pergeseran amplitudo (simpangan maksimum) menjauhi kondisi kosongnya kapasitor (*fully discharge*). Untuk variasi bilangan kuantum utama n_r dengan ℓ yang sama, naiknya n_r menyebabkan naiknya amplitudo dan bertambahnya jumlah simpangan pada visualisasi fungsi gelombang.
2. Fungsi gelombang rangkaian LC, $R_{n_r\ell}(Q)$, tidak memiliki makna fisis apapun, namun $|R_{n_r\ell}(Q)|^2$ memiliki makna rapat peluang ditemukannya fenomena induktansi pada saat kapasitor bermuatan Q dan pada level energi n_r . Amplitudo dan jumlah simpangan fungsi gelombang masing-masing memiliki makna peluang terbesar ditemukannya induktansi dan sebaran rapat peluang ditemukannya induktansi. Dengan demikian, kenaikan bilangan kuantum

orbital menyebabkan pengurangan sebaran rapat peluang ditemukannya induktansi dan menyebabkan bergesernya peluang terbesar ditemukannya induktansi menjauh dari kondisi kapasitor *fully discharge*. Selain itu, kenaikan level energi elektromagnetik yang tersimpan pada rangkaian LC untuk bilangan kuantum orbital yang sama menyebabkan peluang terbesar ditemukannya induktansi semakin besar pada kondisi muatan kapasitor yang sama atau berdekatan, dan rapat peluang ditemukannya induktansi semakin menyebar.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil kajian ini, beberapa saran yang dapat dijadikan alternatif untuk peneliti selanjutnya adalah:

1. Mengembangkan kajian ini dengan menentukan konstanta normalisasi pada fungsi gelombang radial Persamaan Schrödinger potensial osilator harmonik, memasukkan variasi beda potensial di antara konduktor pada kapasitor berdasarkan bentuk geometri dan ukuran kapasitor dengan perhitungan beda potensial melalui Hukum Gauss, dan menemukan makna fisis dari bilangan kuantum orbital ℓ rangkaian LC.
2. Membuat visualisasi fungsi gelombang radial rangkaian LC menggunakan berbagai metode numerik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditiya. 2009. *Pengkajian Osilator Harmonik Secara Kuantum Dengan Simulasi Menggunakan Bahasa Pemrograman Delphi 7.0*. (Tugas Akhir), Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Beiser, A. 1973. *Concepts of Modern Physics* (2nd ed.). McGraw-Hill Kogakusha. Japan.
- Becerril, R., Guzmán, F.S., Rendón-Romero, A., dan Valdez-Alvarado, S. 2008. Solving the Time-Dependent Schrödinger Equation Using Finite Difference Methods. *Revista Mexicana de Física*, **E.54 (2) December 2008** : 120-132.
- Berkdemir, Cüneyt. 2012. *Application of the Nikiforov-Uvarov Method in Quantum Mechanics*. In : Pahlavani, Mohammad Reza. Theoretical Concepts of Quantum Mechanics. InTech.
- Fromhold. A. T. 1981. *Quantum Mechanics for Applied Physics and Engineering*. Academic Press. New York, USA.
- Griffith, D. J. 1995. *Introduction to Quantum Mechanics*. Prentice Hall. USA.
- Harrison, W. A. 2000. *Applied Quantum Mechanics*. World Scientific. Singapore.
- Jeong, Gyu-Seob., Bae, Woorham., dan Jeong, Deog-Kyoon. 2017. *Review of CMOS Integrated Circuit Technologies for High-Speed Photo-Detection*. Diakses 19 Februari 2019 dari <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5620527/#B85-sensors-17-01962>.
- Kim, Dae Mann. 2015. *Introductory Quantum Mechanics for Applied Nanotechnology*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA. Weinheim, Germany.

Levi, Anthony. 2003. *Applied Quantum Mechanics*. Cambridge University Press. New York, USA.

Purwanto, Agus. 2005. *Fisika Kuantum*. Penerbit Gava Media. Yogyakarta.

Rashid, Muhammad H. 2011. *Microelectronics : Analysis and Design* (2nd ed.). Cengage Learning. Stamford, USA.

Ritcher, Amanda. 2013. *Nanotechnology in your pocket : Samsung New Smartwatch and More*. Diakses 23 Maret 2019 dari <http://www.nanotech-now.com/columns/?article=795>.

Rosyid, M. F. 2006. *Mekanika Kuantum : Model Matematis Gejala Alam Mikroskopis, Tinjauan Takrelativistik*. Jurusan Fisika FMIPA UGM. Yogyakarta.

Serway, Raymond A., dan Jewett, John W. 2008. *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (9th ed.). Brooks/Cole. Boston, USA.

Sullivan, Dennis M. 2012. *Quantum Mechanics for Electrical Engineers*. John Wiley & Sons. Canada.

Sutisna. 2009. Solusi Analitik Persamaan Schrödinger Sistem Osilator Harmonik 1 Dimensi dengan Massa Bergantung Posisi menggunakan Metode Transformasi. *Jurnal Ilmu Dasar*, Vol. 10 No. 2. Juli 2009 : 114-120.

Tim Ahli Tafsir di bawah pengawasan Syaikh Syafiyyurrahman al-Mubarakfuri. 2000. *Shahih Tafsir Ibnu Katsir. (Jilid 4)*. Penerjemah: Abu Ihsan al-Atsari, Abu Ahsan Sirojuddin Hasan Bashri, dan Tim Pustaka Ibnu Katsir. Penerbit Pustaka Ibnu Katsir. Bogor.

Young, Hugo D., dan Freedman, Roger A. 2016. *Sears and Zemansky's University Physics with Modern Physics* (14th global ed.). Pearson Education. USA.

Zettili, N. 2009. *Quantum Mechanics Concepts and Applications* (2nd ed.). John Wiley & Sons. West Sussex, UK.