

**IMPLEMENTASI MEKANIKA KUANTUM DINAMIKA HARGA SAHAM
DALAM MODEL POTENSIAL OSILATOR TAK HARMONIK
(STUDI KASUS PADA PT. BANK MANDIRI TBK)**

(Skripsi)

Oleh

Bella Laraswati



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

IMPLEMENTASI MEKANIKA KUANTUM DINAMIKA HARGA SAHAM DALAM MODEL POTENSIAL OSILATOR TAK HARMONIK (STUDI KASUS PADA PT. BANK MANDIRI TBK)

Oleh

Bella Laraswati

Pengkajian mekanika kuantum untuk pasar saham telah dilakukan menggunakan model potensial osilator tak harmonik dengan menganalogikan harga saham sebagai partikel. Pasar saham berkontribusi pada perubahan pergerakan *return* harga saham yang dibangun berdasarkan persamaan Langevin. Pada penelitian ini, pasar saham ditinjau pada keadaan stasioner sehingga harga saham dapat diwakili dengan fungsi gelombang Schrödinger tak bergantung waktu menghasilkan rapat probabilitas model pasar saham yang kemudian dicocokkan dengan rapat probabilitas dari data harga saham PT. Bank Mandiri Tbk. Data yang dipakai dalam pencocokan model potensial osilator harmonik terhadap mekanika kuantum terhadap harga saham adalah pergerakan harga penutupan harian (*adjust close*) sejak tanggal 4 Januari 2016 sampai dengan 27 Desember 2019. Berdasarkan persamaan Langevin didapatkan persamaan potensial osilator tak harmonik yang memiliki 3 konstanta sebagai parameter yaitu γ , c dan k . Proses pencocokan secara komputasi sehingga didapat parameter γ yang menggambarkan kekuatan *market maker* dalam menerima order diperoleh sebesar 10^7 . Parameter c menggambarkan dominasi *trend follower* atau *contrarian* pada pasar saham diperoleh sebesar $0,6\gamma$. Parameter k menggambarkan perilaku penghindaran risiko oleh *trend follower* dan *contrarian* diperoleh sebesar 10^{-2} . Nilai standar deviasi (σ) yang dihasilkan sebesar 0,0175 sehingga dapat mewakili keadaan data harga saham PT. Bank Mandiri Tbk.

Kata kunci: Saham, Schrödinger, potensial osilator tak harmonik, Langevin.

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF QUANTUM MECHANICS OF STOCK PRICE DYNAMICS IN UNHARMONIC POTENTIAL OSCILLATOR MODEL (CASE STUDY AT PT. BANK MANDIRI TBK)

By

Bella Laraswati

A study of quantum mechanics for the stock market has been carried out using a potential non-harmonic oscillator model by analogizing stock prices as particles. Stock market actors contribute to changes in stock price return movements based on the Langevin equation which is a stochastic differential equation. In this study, the stock market is punched in a stationary state so that the stock price can be represented by a time-independent Schrödinger wave function. Probability meeting of the stock market model which is then matched with the probability meeting of the stock price data of PT. Bank Mandiri Tbk. The data used in the matching is the movement of the daily closing price (adjusted close) from January 4, 2016 to December 27, 2019. Based on the Langevin equation, the harmonic oscillator potential equation is obtained which has 3 constants as parameters γ , c and k . Matching is done by setting the value of γ , c and k . The matching process is carried out using computation so that the parameter γ which describes the market maker's power in absorbing orders is equal to 10^7 . Parameter c describes the dominance of trend followers or contrarians in the stock market of 0.6γ . Parameter k describes risk aversion behavior by trend followers and contrarians is equal to 10^{-2} . The standard deviation value (σ) generated is 0.0175 so that it can represent the state of the stock price data of PT. Bank Mandiri Tbk.

Keywords: *Stock, Schrödinger, non-harmonic oscillator potential, Langevin.*

**IMPLEMENTASI MEKANIKA KUANTUM DINAMIKA HARGA SAHAM
DALAM MODEL POTENSIAL OSILATOR TAK HARMONIK
(STUDI KASUS PADA PT. BANK MANDIRI TBK)**

Oleh

Bella Laraswati

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Penelitian

: **IMPLEMENTASI MEKANIKA KUANTUM
DINAMIKA HARGA SAHAM DALAM MODEL
POTENSIAL OSILATOR TAK HARMONIK
(STUDI KASUS PADA PT. BANK MANDIRI
TBK)**

Nama Mahasiswa

: **Bella Laraswati**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1617041083**

Jurusan

: **Fisika**

Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



1. **Komisi Pembimbing**

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Arif Surtono'.

Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 197109092000121001

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Dr. Junaidi'.

Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.
NIP. 198206182008121001

2. **Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung**

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Gurum Ahmad Pauzi'.

Gurum Ahmad Pauzi, S. Si., M. T.
NIP. 198010102005011002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.**



Sekretaris

: **Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, S. Si., M. T.
NIP. 197407052000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **22 Desember 2022**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 13 Februari 2023




Bella Laraswati
NPM. 1617041083

RIWAYAT HIDUP



Penulis yang bernama lengkap Bella Laraswati dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 26 Juni 1998 dari pasangan Bapak Agus Kosasih (Alm) dan Ibu Nining Lismawati. Penulis menyelesaikan pendidikan di TK Al-Quran Terpadu Al-Ikhlas tahun 2004, SD Negeri 6 Gedung Air Tahun 2010, Negeri 14 Bandar Lampung tahun 2013 dan SMA Negeri 9 Bandar Lampung tahun 2016 di Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Pada tahun 2016 penulis diterima sebagai mahasiswa di Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, Penulis juga aktif dalam organisasi kemahasiswaan sebagai Anggota bidang kaderisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) periode 2016 dan Sekertaris bidang Dana Usaha (Danus) Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) periode 2017. Penulis pernah menjadi asisten Praktikum Fisika Dasar 1 dan 2, Elektronika Dasar 1 dan 2, Fisika Eksperimen, Fisika Lingkungan, Fisika Komputasi dan Pemrograman Komputer. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan di Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (PPET LIPI) Bandung

dengan judul “**Pembuatan dan Karakterisasi Sensor Temperatur Berbasis *Bending Fiber Optik***” dan menyelesaikan pendidikan skripsi di jurusan Fisika dengan Judul “**Implementasi Mekanika Kuantum Dinamika Harga Saham Dalam Model Potensial Osilator Tak Harmonik (Studi Kasus PT. Bank Mandiri Tbk.)**”. Selain itu, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Ringin Jaya, Kecamatan Bandar Negeri Suoh, Kabupaten Lampung Barat pada bulan Juli sampai dengan Agustus 2019.

MOTO

Man jadda wajada

Jadilah satu persen lebih baik setiap harinya

Jadilah versi terbaik untuk dirimu sendiri

“Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu selesai
(dari suatu urusan) kerjakan dengan sungguh-sungguh urusan yang lain, dan
hanya kepada Allah hendaknya kamu berharap”

----- **QD. Al Insyirah: 6-8** -----

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap rasa syukur kepada Allah *Subhanahu wa ta'ala*, karya ini kupersembahkan kepada:

Kedua Orang tuaku Tercinta

Bapak Agus Kosasih & Ibu Nining Lismawati

Terimakasih sudah menunggu dengan sabar dan ikhlas serta selalu membekali langitkan do'a demi mendukung dan menguatkan hingga putrinya mampu menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai Sarjana

Kakak-kakakku tersayang

Asep Munandar & Noviani Agustianingsih

Terimakasih sudah kebersamaan dan senantiasa mendo'akan sehingga mampu bertahan untuk menyelesaikan pendidikan S1

Rekan-rekan seperjuangan dan sahabat fisika FMIPA Universitas Lampung Angkatan 2016

Terimakasih atas segala dukungannya sehingga mampu menyelesaikan pendidikan S1

Para Dosen dan Civitas Akademika

Terimakasih atas ilmu, dukungan, bimbingan yang telah diberikan untuk melangkah jauh lebih baik kedepannya

Almamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullah Wabarokatuh.

Puji syukur penulis haturkan atas karunia Allah SWT, karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Implementasi Mekanika Kuantum Dinamika Harga Saham Dalam Model Potensial Osilator Tak Harmonik (Studi Kasus PT. Bank Mandiri Tbk.)”**. Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan kekurangan tersebut. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menjadi literatur serta rujukan bagi penelitian-penelitian berikutnya.

Wassalamualaikum Warahmatullah Wabarokatuh

Bandar Lampung, 13 Februari 2023

Penulis

Bella Laraswati

SANWACANA

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur penulis haturkan atas karunia Allah SWT, karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam tak lupa penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, karena dengan perantaranya kita semua dapat merasakan indahnya kehidupan ini.

Skripsi dengan judul “**Implementasi Mekanika Kuantum Dinamika Harga Saham Dalam Model Potensial Osilator Tak Harmonik (Studi Kasus PT. Bank Mandiri Tbk.)**” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung. Selama proses pengerjaan skripsi ini, penulis telah menerima banyak bantuan pemikiran, semangat serta dorongan dari berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati, penulis menghaturkan terimakasih kepada:

1. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, saran, motivasi, serta ilmunya selama melakukan penelitian dan penulisan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan masukan, saran dan nasihat dalam melakukan penelitian dan penulisan skripsi ini.

3. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung dan Dosen Pembahas yang telah memberikan bimbingan serta nasehat kepada penulis selama menempuh pendidikan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung. Terimakasih atas kritik dan saran yang membangun sehingga penelitian dan penulisan skripsi ini menjadi lebih baik.
4. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
5. Dosen-dosen Jurusan Fisika FMIPA Unila yang telah memberi bimbingan dan ilmu yang kepada penulis selama menempuh pendidikan.
6. Para Staf Jurusan Fisika FMIPA Unila yang telah membantu dan memberi dukungan selama menempuh Pendidikan.
7. Orang tuaku, Ibu Nining Lismawati dan Bapak Agus Kosasih serta kakak-kakakku Asep Munandar dan Noviani Agustianingsih yang selalu memberikan semangat dan dukungan baik secara moril dan materil selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
8. Rekan-rekan yang senantiasa membantu dikala kesulitan masa penyusunan skripsi Ario Maulana, Rifki Abi, Adelia Adzhari, Fadhila Tunur P.A dan Rianita Baiti terimakasih telah mau direpotkan oleh penulis.
9. Seluruh teman-teman Fisika 2016, terima kasih atas dukungannya sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini.
10. Serta semua pihak yang tak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga Allah SWT memberikan imbalan berlipat dan memudahkan langkah semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Bandar Lampung, 13 Februari 2023

Penulis

Bella Laraswati

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
HALAMAN JUDUL	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
HALAMAN PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTO	x
PERSEMBAHAN	xi
KATA PENGANTAR	xii
SANWACANA	xiii
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1

1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	6

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait	7
2.2 Mekanika Kuantum.....	9
2.3 Persamaan Schrödinger.....	13
2.4 Osilator Harmonik	16
2.5 Osilator Tak Harmonik	18
2.6 Persamaan Langevin	18
2.7 Saham.....	20
2.7.1 Pengertian Saham	20
2.7.2 Jenis-Jenis Saham.....	23
2.8 Bahasa Pemrograman <i>Python</i>	25

III. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	30
3.2 Alat dan Bahan.....	30
3.2.1 Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	30
3.2.2 Data Harga Saham	31
3.2.3 Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	31
3.3 Prosedur Penelitian	31
3.3.1 Studi Literatur.....	31
3.3.2 Persiapan/Pngumpulan Data Harga Saham	32
3.3.3 Pendekatan Model Potensial dalam Osilator Tak Harmonik Pada Harga Saham	34
3.3.4 Penyelesaian Persamaan Schrödinger bagi Pasar Saham.....	41
3.3.6 Pencocokan Model Kuantum pada Data Harga Saham PT. Bank Mandiri Tbk.....	44
3.3.7 Rancangan Data Hasil Penelitian	47

3.3.8 Rancangan Analisis Data Penelitian.....	47
---	----

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Parameter γ , c dan k	49
1. Parameter γ	51
2. Parameter c	53
3. Parameter k	55
4.2 <i>Return</i> , Distribusi, Prpbabilitas dan Rapat Probabilitas Harga Saham PT. Bank Mandiri Tbk.	56
4.3 Pencocokan Dinamika Harga Saham PT. Bank Mandiri Tbk. dalam Model Potensial Osilator Tak Harmonik Mekanika Kuantum	57

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan	60
5.2 Saran	60

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Perbedaan Bahasa program C++, Java dan Python.	26
Gambar 3. 1 Tampilan halaman <i>yahoo finance</i>	32
Gambar 3. 2 Tampilan Data Harga Saham PT.Bank Mandiri Tbk.	33
Gambar 3. 3 Grafik Data Saham PT. Bank Mandiri Tbk Bulan Januari 2016 hingga Desember 2019	34
Gambar 3. 4 Grafik Hubungan Antara <i>Return</i> dan Nilai Potensial (V).	48
Gambar 3. 5 Grafik Hubungan Antara Return dan Rapat Probabilitas.	48
Gambar 4.1 Bentuk Potensial dari Penyelesaian Persamaan Schrodinger menggunakan nilai γ 1×10^7 , 4×10^7 dan 8×10^7 dengan $c = 0,1\gamma$ dan $k = 0,01$	52
Gambar 4.2 Bentuk Rapat Probabilitas dari Penyelesaian Persamaan Schrodinger menggunakan nilai γ 1×10^7 , 4×10^7 dan 8×10^7 dengan $c = 0,1\gamma$ dan $k = 0,01$	53
Gambar 4.3 Bentuk Potensial Rapat Probabilitas Return dari Penyelesaian Persamaan Schrodinger menggunakan nilai $\gamma = 10^7$ dengan $k = 10^{-2}$ dan c yaitu $0,1\gamma$; $0,6\gamma$; $0,9\gamma$	54
Gambar 4.4 Rapat Probabilitas Return dari Penyelesaian Persamaan Schrödinger menggunakan nilai $\gamma = 10^7$ dengan $k = 10^{-2}$ dan c sebesar $0,1\gamma$; $0,6\gamma$ dan $0,9\gamma$	55

Gambar 4.5 Bentuk Potensial dari Penyelesaian Persamaan Schrodinger menggunakan nilai $\gamma = 10^7$ dengan $c = 0,6\gamma$ dan k yaitu 1, 10^{-1} dan 10^{-2}	56
Gambar 4.6 Rapat Probabilitas Return dari Penyelesaian Persamaan Schrodinger menggunakan nilai $\gamma = 10^7$ dengan $c = 0,6\gamma$ dan k yaitu 1, 10^{-1} dan 10^{-2}	57
Gambar 4.7 Hasil Pencocokan Model Osilator Tak Harmonik dengan Data Harga Saham BMRIJK.....	59
Gambar 4.8 Standar Deviasi (σ) dari Hasil Pencocokan Model Potensial BMRI.....	60

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3. 1 Spesifikasi PC	30
Tabel 3. 2 Analogi Besaran Fisika dan Besaan Ekonomi	35
Tabel 3. 3 Hubungan antara besar nilai rapat probabilitas dan return.....	47
Tabel 3. 4 Nilai Parameter γ , k dan c	47
Tabel 4. 1 Hubungan antara besar nilai rapat probabilitas dan return.....	51

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fisika dan Ekonomi merupakan dua bidang ilmu yang berbeda. Ilmu ekonomi adalah ilmu yang mempelajari mengenai cara produksi, distribusi dan konsumsi barang dan jasa (Krugman dkk, 2011). Ekonomi banyak dipandang sebagai disiplin tentang perilaku manusia yang berhubungan dengan manajemen sumber daya, keuangan, pendapatan, produksi dan konsumsi barang-barang dan jasa (Hartono, 2016). Sedangkan fisika merupakan ilmu yang berupaya memahami pola-pola keteraturan alam yang dibingkai dalam bagan berfikir yang runtun dan matematis (Rosyid, 2006). Ilmu Fisika menjelaskan bagaimana manusia berusaha untuk memahami alam, alam dianggap memiliki aturan-aturan dalam berperilaku. Manusia mencoba memahami alam dengan cara mempelajari aturan-aturan tersebut dan alam semesta adalah objek yang dikaji oleh ilmu fisika. Alam semesta meliputi fenomena dari segala hal, mulai dari hal terkecil dalam tataran partikel, sampai dengan yang terbesar yaitu kosmos (Feynman, 2011).

Istilah ekonofisika pertama kali dikenalkan dalam makalah yang ditulis fisikawan bernama Eugene Stanley. Pada tahun 1955 istilah tersebut diperkenalkan pada

konferensi *Dynamics of Complex Systems* di Kolkata, India. Ekonofisika adalah penerapan metode-metode fisika untuk menyelesaikan berbagai masalah di bidang ekonomi. Sekelompok manusia beserta tindakan pengambilan keputusannya yang merupakan objek kajian ekonomi dapat dipandang sebagai sistem kompleks fisika yang dipelajari sifat-sifatnya. Fisika yang pada dasarnya merupakan ilmu kuantitatif, tentu menjadi keunggulan dalam menghadapi data-data keuangan yang berjumlah besar (Sakurai, 2004).

Penerapan fisika yang dilakukan di bidang ekonomi pada tahun 1900 diantaranya dilakukan oleh Louis Bachelier dengan menerapkan teori Brown untuk menjelaskan dinamika harga saham dan distribusi keuangan. Pada tahun 1973, Fisher Black dan Myron Scholes menyempurnakan model yang telah dirancang Bachelier dengan menghitung harga opsi yang andil di pasar modal atau pasar saham dengan menggunakan model gerak Brown geometrik dan persamaan rambatan panas (Resmiyanto, 2014). Pada perkembangannya, sebagian besar teori fisika yang diterapkan dalam kajian ekonomi adalah fisika klasik.

Saham merupakan salah satu instrumen keuangan jangka panjang yang diperjual belikan di pasar modal. Saham menjadi salah satu alternatif investasi yang populer bagi investor di Indonesia. *Return* saham adalah tingkat keuntungan yang dinikmati oleh pemodal atas suatu investasi yang dilakukannya (Hamzah, 2006). Perdagangan saham memiliki daya tarik yang besar karena adanya potensi untuk menghasilkan *return* yang sangat tinggi dari uang yang diinvestasikan dalam waktu yang cukup singkat. (Ahn dkk, 2017). Pada pasar modal, berbagai instrumen keuangan jangka panjang bisa diperjualbelikan, baik surat utang

(*obligasi*), *ekuitas* (saham), reksa dana, maupun instrumen lainnya. Pasar modal merupakan sarana pendanaan bagi perusahaan maupun institusi lain (misalnya pemerintah), dan sebagai sarana bagi kegiatan berinvestasi. Dengan demikian, pasar modal memfasilitasi berbagai sarana dan prasarana kegiatan jual beli dan kegiatan terkait lainnya (Hamzah, 2006). Pasar Modal memiliki peran penting bagi perekonomian suatu negara karena pasar modal menjalankan dua fungsi, yaitu pertama sebagai sarana bagi pendanaan usaha atau sebagai sarana bagi perusahaan untuk mendapatkan dana dari masyarakat pemodal (*investor*) (Darmidji, 2006). Salah satu perusahaan yang sahamnya terdapat di pasar modal Indonesia adalah PT. Bank Mandiri Tbk. PT ini telah tercatat di dalam pasar modal sejak Juli 1999 dengan bidang usaha Perbankan dan berada pada sektor *finance* dan subsektor bank. PT. Bank Mandiri Tbk. mempunyai 11 anak perusahaan jenis jasa keuangan, sekuritas dan asuransi dengan laba yang mencapai Rp13,8 Triliun pada tahun 2016, dan 17,1 Triliun pada tahun 2021 (Yahoo Finance, 2021).

Menurut Aprinoyadi dkk (2017) pergerakan harga saham dapat dimodelkan dengan model mekanika kuantum. Mekanika kuantum dapat digunakan untuk menjelaskan posisi partikel dalam ruang dan waktu suatu sistem yang bersifat *probabilistic*. Harga saham dapat dianalogikan sebagai partikel sehingga dapat dijelaskan dengan model mekanika kuantum yang tidak cocok dijelaskan dengan model mekanika klasik. Penggunaan model kuantum dapat dijadikan suatu terobosan baru untuk memodelkan harga saham yang lebih baik dibanding metode-metode yang telah diterapkan sebelumnya. Model kuantum untuk harga

saham merupakan suatu hal yang baru, sehingga masih perlu dikembangkan (Apriniyadi dkk, 2017).

Model pasar saham menggunakan potensial osilator harmonik telah dilakukan oleh Ahn dkk (2017) dan Meng dkk (2015). Pada model ini harga saham dianalogikan sebagai partikel yang dianggap teredam di dalam sumur potensial yang berisolasi harmonik setelah itu dijelaskan melalui teori pita energi. Pada model ini menjelaskan pasar saham yang bersifat *price limited* tidak dapat menggambarkan harga saham yang *fluktuatif*.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya harga saham dapat dianalogikan sebagai sebuah sistem kuantum, pergerakan harga saham dapat diwakilkan oleh fungsi gelombang. Dengan mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi harga saham, dapat dibangun sebuah fungsi Hamiltonian yang berisi faktor-faktor harga saham. Berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya, dalam penelitian ini berupaya untuk mengkaji kaitan antara sebuah model kuantum dengan harga saham dibangun dengan menggunakan Hamiltonian dengan potensial kuantum osilator tak harmonik. Pelaku-pelaku pasar saham berkontribusi pada perubahan pergerakan return harga saham dapat dibangun berdasarkan persamaan Langervin.

Distribusi rapat probabilitas dan *return* harga saham dapat diperoleh dengan memasukan persamaan Hamiltonian ke dalam persamaan Schrödinger. Setelah didapat model distribusi rapat probabilitas dicocokkan menggunakan data empiris yaitu pergerakan harga saham harian saham perusahaan PT. Bank Mandiri Tbk. Oleh karena itu, penelitian tentang model mekanika kuantum dalam pasar saham menggunakan potensial osilator tak harmonik menarik untuk dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana merumuskan persamaan Schrödinger tak gayut waktu model potensial osilator tak harmonik dinamika pasar saham?
2. Bagaimana mengetahui bentuk model potensial osilator tak harmonik pada harga saham PT. Bank Mandiri Tbk. pada keadaan *ground state*?
3. Berapa nilai standar deviasi (σ) pencocokan model potensial osilator tak harmonik kuantum terhadap model empiris pada PT. Bank Mandiri Tbk?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui rumusan persamaan Schrödinger tak gayut waktu model potensial osilator tak harmonik dinamika pasar saham.
2. mengetahui bentuk model potensial osilator tak harmonik pada harga saham PT. Bank Mandiri Tbk. pada keadaan *ground state*.
3. Memperoleh nilai standar deviasi (σ) pencocokan model potensial osilator tak harmonik kuantum terhadap model empiris pada PT. Bank Mandiri Tbk.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menjadi salah satu acuan dalam memodelkan dan merumuskan dinamika suatu pasar saham menggunakan sudut pandang mekanika kuantum.

2. Memodelan keadaan setimbang suatu saham menggunakan potensial osilator tak harmonik dapat memberikan gambaran keadaan rapat probabilitas dan *return* harga saham dari sudut pandang yang baru.
3. Meminimalisir kerugian saat penjual saham dan pembeli saham melakukan transaksi jual-beli saham.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Data yang digunakan adalah harga saham dari perusahaan PT. Bank Mandiri Tbk. dalam harian yang diambil dari *finance.yahoo.com* dari tahun 2016 hingga tahun 2019.
2. Keadaan *return* harga saham diwakilkan dengan fungsi gelombang seperti pada mekanika kuantum.
3. Analisis data saham menggunakan model potensial osilator tak harmonik.
4. Saham diasumsikan pada partikel potensial berisolasi tak harmonik yang dapat mewakili segala informasi yang mempengaruhi *return* harga saham.
5. Menggunakan aplikasi *Python 3* sebagai bahasa pemrograman untuk pencocokan komputasional data harga saham dengan model sumur potensial kuantum.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian yang berkaitan dengan mekanika kuantum bagi pasar saham telah banyak dilakukan sebelumnya. Berikut adalah penelitian-penelitian yang memiliki topik serupa, namun berbeda dalam hal pendekatan maupun bentuk potensial yang digunakan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Attaullah dan Tippet (2007) harga *return* terpusat pada *FTSE Index London Stock Exchange* dimodelkan sebagai osilator harmonik sederhana dengan *noise* selama periode 1 januari 1994 hingga 30 juni 2006. Mekanisme untuk mengklasifikasikan pola harga berdasarkan indeks “Froude” dituliskan pada **Persamaan 2.1** (Ataullah dan Tippet, 2007).

$$F(t) = \frac{[P'(t)]^2}{P(t)P''(t)} \quad (2.1)$$

Dimana $P(t)$ adalah harga sekuritas yang diberikan, $P'(t)$ adalah kecepatan harga dan $P''(t)$ adalah percepatan harganya. Indeks Froude berkembang secara stokastik dari waktu ke waktu. Informasi tentang kekuatan dan arah tren harga sekuritas ekuitas akan sangat penting bagi investor, namun sifat distribusi Indeks Froude tidak mudah

ditentukan ketika harga sekuritas ekuitas merupakan fungsi eksponensial dari osilator harmonik sederhana dengan derau Gaussian (Ataullah dan Tippett, 2007).

Meng dkk. (2015) menjelaskan model harmonik *spatial-periodic* kuantum untuk perilaku pasar saham dengan *daily price limited*. Harga saham dianggap berisolasi teredam dalam sebuah sumur potensial osilator harmonik *spatial-periodic* kuantum. Meng dkk. (2015) mengkaji *daily price-limited* pada pasar saham dengan bantuan teori pita energi kuantum dan memperkenalkan potensial osilator harmonik *spatial-periodic*. Model ini menjelaskan adanya struktur pita energi kuantum di pasar saham dengan *price-limited*, dan struktur pita energi kuantum akan memperlihatkan hubungan antara volatilitas dan volume perdagangan (Meng dkk., 2015).

Gao dan Chen (2016) memodelkan osilator tak harmonik untuk pasar saham dengan dinamika partikel kuantum dianggap sebagai analogi pergerakan harga saham pasar *likuid*. Distribusi probabilitas pengembalian harga saham dapat dihitung dari fungsi gelombang yang berkembang menurut persamaan Schrödinger. Pada penelitian ini distribusi probabilitas yang dipasang dari osilator tak harmonik pada keadaan campuran hanya mampu mengidentifikasi pada keadaan dasar, karena pada dasarnya saham dipasar sebenarnya terkadang dapat melompat ke keadaan tereksitasi dan kembali ke keadaan dasar dalam waktu yang singkat (Gao dan Chen, 2017).

Penelitian terkait pemodelan distribusi pengembalian saham dengan osilator harmonik kuantum dilakukan oleh Ahn dkk. (2017). Penelitian ini mengusulkan osilator harmonik kuantum sebagai model untuk kekuatan pasar yang menarik

pengembalian saham dari *fluktuasi* jangka pendek ke *ekulibrium* jangka panjang. Persamaan stokastik ditransformasikan menjadi persamaan Schrödinger, yang solusinya menampilkan fungsi eigen terkuantisasi, namun pada model ini belum biasa menghitung *Value at Risk* berdasarkan osilator harmonik kuantum (Ahn dkk., 2017).

2.2 Mekanika Kuantum

Mekanika kuantum adalah cabang ilmu fisika yang menjelaskan tentang teori atom dan subatom yang tidak dapat diselesaikan dengan mekanika klasik (Griffiths, 2003). Menurut Werner Heisenberg mekanika kuantum ini biasa disebut juga sebagai teori ketidakpastian. Hal ini karena posisi dan momentum elektron tidak bisa ditentukan secara pasti (Griffiths, 2003).

Berawal dari teori de Broglie dan Heisenberg, maka munculah teori Schrödinger yang menyatakan bahwa posisi dan momentum elektron tidak bisa ditentukan secara pasti, yang bisa ditentukan adalah *probabilitas* (kemungkinan daerahnya) menemukan elektron. Daerah dengan *probabilitas* menemukan elektron terbesar disebut dengan orbital (Binney dan David, 2008). Pada tahun 1926, Erwin Schrödinger menggunakan sifat gelombang de Broglie suatu partikel dalam persamaan gelombang pada **Persamaan 2.2**

$$\frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2} + \frac{\varphi^2}{v^2} \varphi(x) = 0 \quad (2.2)$$

Jika momentum partikel p , maka panjang gelombangnya adalah $\lambda = h/p$. Karena kecepatan $v = f \lambda$ maka persamaan kecepatan yang baru dapat ditulis pada

Persamaan 2.3

$$v = \frac{\hbar \omega}{p} \quad (2.3)$$

Dimana $\hbar = h/2\pi$ dan $\omega = 2\pi f$ dengan demikian Persamaan gelombang menjadi

Persamaan 2.4:

$$\frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2} + \frac{p^2}{\hbar^2} \varphi(x) = 0 \quad (2.4)$$

Pada tataran kinematik, mekanika kuantum memiliki tiga unsur pokok, yaitu: ruang keadaan, aljabar *observable* dan prosedur untuk mengakses informasi.

Persamaan yang dinyatakan oleh Schrödinger tentang posisi dan momentum elektron tidak bisa ditentukan secara pasti namun *probabilitas* (kemungkinan daerahnya) bisa ditentukan. Dari persamaan tersebut dapat digunakan untuk memodelkan pergerakan pasar saham, karena pada dasarnya sifat acak pergerakan harga saham (*Quantum Finance*) dapat dimaknai bahwa terdapat variabel-variabel yang sulit diamati seperti halnya elektron.

Dalam mekanika kuantum keadaan suatu sistem diekspansikan pada basis diruang Hilbert. Fungsi gelombang sistem dapat mencari semua informasi dengan menggunakan suatu operator pada fungsi tersebut, salah satunya untuk mendapatkan informasi prediksi pasar saham. Pasar dapat dinyatakan dengan *state-state* dalam ruang Hilbert. Karena penyusun pasar adalah penanam modal, sekuritas dan harga

sekuritas, maka basis bagi keadaan pasar dibangun penyusun pasar tersebut. Kegiatan yang dilakukan pelaku pasar dapat dinyatakan dengan operator. Operator dalam pasar keuangan dapat dicari dengan menganalogikan operator-operator yang telah dikenal dalam fisika berdasarkan kesamaan sifat pasar keuangan dengan fisika (Schaden,2002)

Ruang Hilbert merupakan ruang keadaan pada mekanika kuantum. Keadaan dalam mekanika kuantum pada waktu t diwakili oleh anggota ruang Hilbert seperti

Pesaamaan 2.5

$$|\psi(t)\rangle \in H \quad (2.5)$$

Dengan $\psi(t)$ merupakan vektor keadaan yang disebut sebagai fungsi gelombang dalam ruang Hilbert yang menggambarkan keadaan sistem kuantum. Fungsi kuantum ψ sesungguhnya tidak memiliki arti fisis secara langsung. Hal ini bahwa ψ tak dapat diinterpretasikan melalui eksperimen (Siregar, 2018).

Keadaan fisis dalam mekanika kuantum diwakili oleh vektor keadaan dalam ruang vektor kompleks. Vektor keadaan $|\psi(t)\rangle$ disebut sebagai vektor ket yang mewakili segala informasi keadaan fisis sistem kuantum. Setiap elemen atau keadaan vektor di dalam ruang Hilbert disebut vektor ket. Ket menurut notasi dirac dinyatakan dengan simbol " $| \rangle$ " (Siregar, 2018). Penjumlahan dua buah vektor ket menghasilkan vektor ket lainnya dinyatakan pada **Persamaan 2.6**.

$$|\alpha\rangle + |\beta\rangle = |\gamma\rangle \quad (2.6)$$

Perkalian suatu vektor ket $|\alpha\rangle$ dengan suatu bilangan kompleks c akan menghasilkan vektor ket lainnya. Perkalian bilangan kompleks c ini akan menghasilkan vektor ket yang sama baik dikalikan dari kanan maupun dari kiri seperti **Persamaan 2.7**

$$c|\alpha\rangle = |\alpha\rangle c \quad (2.7)$$

Setiap vektor ket $|\alpha\rangle$ selalu terkait dengan vektor bra $\langle\alpha|$. **Persamaan 2.8** *Inner product* antara vektor bra dan ket dapat dituliskan sebagai

$$\langle\beta|\alpha\rangle = (\langle\beta|) \cdot (|\alpha\rangle) \quad (2.8)$$

Sistem mekanika kuantum tidak dapat menerapkan perhitungan secara langsung seperti mekanika klasik, membutuhkan suatu cara atau operasi agar didapatkan nilai dari suatu observabel. Operasi yang digunakan untuk memperoleh observabel dalam sistem kuantum disebut operator. Operator yang mewakili sistem mekanika kuantum harus merupakan operator hermitian yang lengkap. Operator hermitian dikatakan lengkap jika seluruh swavektor operator merupakan basis bagi ruang Hilbert (Stanley, 2006). Pada **Persamaan 2.9** Operator $\hat{\Omega}$ yang dikenakan pada suatu vektor ket dari kiri dapat ditulis sebagai,

$$\hat{\Omega}(|\alpha\rangle) = \hat{\Omega}|\alpha\rangle \quad (2.9)$$

Beberapa operator yang dikenal dalam sistem kuantum diantaranya sebagai berikut (Hermanto, 2010):

Persamaan 2.10 menyatakan persamaan untuk Operator Momentum.

$$\hat{p} = \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x} \quad (2.10)$$

Persamaan 2.11 menyatakan persamaan untuk Operator Energi.

$$\hat{E} = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \quad (2.11)$$

Persamaan 2.12 menyatakan persamaan untuk Operator Energi Kinetik,

$$\hat{T} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \quad (2.12)$$

Persamaan 2.13 menyatakan persamaan untuk Operator Hermitian atau sering disebut dengan operator energi total

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V \quad (2.13)$$

2.3 Persamaan Schrödinger

Persamaan Schrödinger menjelaskan hubungan ruang dan waktu pada sistem mekanika kuantum. Persamaan Schrödinger diajukan oleh seorang fisikawan berkebangsawan Austria bernama Erwin Schrödinger pada tahun 1925. Persamaan ini merupakan suatu hal penting dalam teori mekanika kuantum. Dalam fisika klasik dikenal persamaan gelombang 1-dimensi yang ditulis pada **Persamaan 2.14** (Hermanto, 2010).

$$\frac{\partial^2 \psi(x,t)}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi(x,t)}{\partial t^2} = 0 \quad (2.14)$$

Pesamaan 2.15 adalah fungsi gelombang $\psi(x, t)$ dengan variabel posisi (x) dan waktu (t).

$$\psi(x, t) = \varphi(x) \varnothing(t) \quad (2.15)$$

Persamaan 2.16 merupakan hasil dari substitusi persamaan 2.15 ke persamaan 2.14

$$\frac{v^2}{\varphi(x)} \frac{\partial^2 \varphi(x)}{\partial x^2} = \frac{1}{\varnothing(t)} \frac{\partial^2 \varnothing(t)}{\partial t^2} = -\omega^2 \quad (2.16)$$

Pemberian $-\omega^2$ dapat dilakukan karena telah terjadi pemisahan variabel x dan variabel t . Sehingga didapat **Persamaan 2.17** terhadap waktu dan **Persamaan 2.18** terhadap posisi

$$\frac{\partial^2 \phi(t)}{\partial t^2} + \omega^2 \phi(t) = 0 \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial^2 \phi(x)}{\partial x^2} + \omega^2 \phi(x) = 0 \quad (2.18)$$

Jika partikel dipandang sebagai gelombang, maka panjang gelombangnya adalah $\lambda = h/p$. Dimana $h = 6,63 \times 10^{-34} Js$ disebut konstantan Plank dan p momentum linier partikel. Karena kecepatan $v = f \lambda$, maka persamaan kecepatan yang baru ditulis pada **Persamaan 2.19**

$$v = \frac{h\omega}{p} \quad (2.19)$$

Dimana $h = h/2\pi$ dan $\omega = 2\pi f$. maka persamaan gelombang terhadap posisi pada Persamaan 2.20 berubah menjadi **Persamaan 2.20**

$$\frac{\partial^2 \phi(x)}{\partial x^2} + \frac{p^2}{h^2} \phi(x) = 0 \quad (2.20)$$

Karena energi kinetik partikel $T = p^2/2m$ maka persamaan gelombang pada

Persamaan 2.22 berubah menjadi **Persamaan 2.21**

$$\frac{\partial^2 \phi(x)}{\partial x^2} + \frac{2mT}{h^2} \phi(x) = 0 \quad (2.21)$$

Energi potensial yang dimiliki partikel adalah V , maka energi partikel adalah $E = T+V$. **Persamaan 2.22** disebut persamaan Schrödinger yang tidak bergantung waktu 1-dimensi.

$$\frac{\partial^2 \varphi(x)}{\partial x^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - V) \varphi(x) = 0 \quad (2.22)$$

Persamaan 2.23 merupakan persamaan Schrödinger untuk 3-dimensi adalah

$$\nabla^2 \varphi(x, y, z) \frac{\partial^2 \varphi(x)}{\partial x^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - V) \varphi(x, y, z) = 0 \quad (2.23)$$

Operator ∇ (nabla) pada differensial vektor tiga dimensi ditulis pada **Persamaan 2.24**

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (2.24)$$

Solusi persamaan gelombang Schrödinger sebelumnya adalah energi E dan fungsi gelombang $\varphi(x)$ untuk menyelesaikan persamaan itu diperlukan syarat batas. Syarat dapat ditentukan jika bentuk energi potensial V(x) diketahui sebelumnya. **Persamaan 2.25** merupakan persamaan Schrödinger untuk 1-dimensi tak bergantung waktu yang dituliskan sebagai berikut (Zetilli,2001):

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V(x) \right] \varphi(x) = E \varphi(x) \quad (2.25)$$

Persamaan 2.26 merupakan persamaan Hamiltonian bergantung ruang

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V(x) \quad (2.26)$$

Sehingga Persamaan 2.25 berubah bentuk menjadi **Persamaan 2.27**

$$\hat{H} \varphi(x) = E \varphi(x) \quad (2.27)$$

Persamaan 2.28 merupakan persamaan Hamiltonian (\hat{H}) partikel kasus 3-dimensi yang merupakan operator energi dari partikel.

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(x, y, z) \quad (2.28)$$

Operasi operator \hat{H} pada fungsi $\varphi(x)$ menghasilkan energi E tanpa mengubah fungsi $\varphi(x)$. Analogi dengan fisika klasik $E = K + V$, maka $-\left(\frac{\hbar^2}{2m}\right) \frac{\partial^2}{\partial x^2}$ adalah operator energi kinetik dan V adalah operator energi potensial partikel (Siregar, 2010). Persamaan Schrödinger yang bergantung waktu terdapat pada **Persamaan 2.29**

$$-i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(x, t) = \hat{H} \psi(x, t) \quad (2.29)$$

Schrödinger yang bergantung waktu dengan fungsi gelombang $\varphi(x)$ dapat dinyatakan kerapatan peluang untuk menemukan partikel itu di posisi x dalam rentang dx . fungsi gelombang partikel dinormalisasi dinyatakan pada **Persamaan 2.30**

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\varphi(x)|^2 dx = 1 \quad (2.30)$$

Pada **Persamaan 2.30** $|\varphi(x)|^2 = \varphi^*(x)\varphi(x)$ dimana $\varphi^*(x)$ adalah konjugat dari $\varphi(x)$ (Zhang,2010).

2.4 Osilator Harmonik

Pada mekanika kuantum osilator harmonik memiliki peran yang sangat penting. Beberapa fenomena fisis dapat dijelaskan melalui sistem osilator harmonik diantaranya saat mempertimbangkan gerakan sebuah partikel dalam satu dimensi, yaitu getaran sebuah partikel molekul diatomik yang inti atomnya bermassa m_1 dan m_2 . Sistem lain yang ditinjau melalui pendekatan osilator harmonik adalah vibrasi atom-atom dalam kristal zat padat, osilator harmonik dalam mekanika kuantum yang telah dikembangkan di optika kuantum dan laser (Marsiglio, 2009).

Besar frekuensi sudut ω pada osilator harmonik ditulis pada **Persamaan 2.31**

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (2.31)$$

Sistem osilator harmonik sederhana yang paling terkenal adalah sistem pegas dengan konstanta pegas K dan massa m diikatkan pada ujung pegas, ujung pegas yang lain terikat pada suatu dinding tak bergerak (Sholihah et al., 2016).

Persamaan 2.32 merupakan bentuk persamaan potensial osilator harmonik

$$V(x) = \frac{1}{2} K x^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 \hat{x}^2 \quad (2.32)$$

Hamiltonian mengenai potensial osilator harmonik sederhana tak gayut waktu dalam ruang koordinat ditulis pada **Persamaan 2.33**

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + \frac{1}{2} m \omega^2 \hat{x}^2 \quad (2.33)$$

Persamaan Schrödinger tak gayut waktu untuk Hamiltonian di atas ditulis pada

Persamaan 2.34

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2} + \frac{1}{2} m \omega^2 \hat{x}^2 \varphi(x) = E \varphi(x) \quad (2.34)$$

Swanilai energi eigen untuk potensial osilator harmonik yang dapat memprediksi bahwa total energi E bersifat diskrit ditulis pada **Persamaan 2.35**

$$E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega \quad n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots \quad (2.35)$$

Dimana f merupakan frekuensi sudut dan n adalah tingkat energi. Nilai energi dapat diketahui dengan menyelesaikan persamaan Schrödinger.

2.5 Osilator Tak Harmonik

Pada osilator tak harmonik hubungan antara gaya dan perpindahan memiliki sifat yang tidak linier. Menurut Jafapour dan Afshar (2002), osilator *anharmonik* tidak dapat diselesaikan dengan cara analitik. Sebuah osilator kuantum tak harmonik memiliki nilai bentuk Hamiltonian yang ditulis pada **Persamaan 2.36** (Jafaour dan Afshar, 2002).

$$\hat{H} = \frac{\hat{p}^2}{2m} + ax^2 + bx^4 \quad (2.36)$$

Nilai a dan b pada persamaan 2.36 merupakan konstanta yang berkaitan dengan potensial kuantum. Mathews dan Eswaran (1972) menyatakan bahwa bentuk level tertingginya ditulis pada **Persamaan 2.37**

$$E_n \cong \left\{ \frac{(18\pi^3)^{(1/2)}(n+1/2)}{[\tau^{(1/4)}]^2} \right\} \quad (2.37)$$

2.6 Persamaan Langevin

Persamaan Langevin merupakan persamaan differensial stokastik yang menggambarkan evolusi waktu dari himpunan dof seperti gerak brown partikel berukuran kecil yang memiliki gerak acak di dalam cairan fluida. Partikel dapat berintraksi dengan sistem eksternal seperti medan elektromagnetik atau gravitasi, pengaruh ini menggambarkan sebagai gaya $F(t)$. Hukum kedua Newton untuk partikel dengan mengamati pusat massanya dituliskan dalam bentuk **Persamaan 2.38** (Reif, 2009).

$$m \frac{dv}{dt} = f(t) + F(t) \quad (2.38)$$

Dengan $f(t)$ merupakan gaya total tumbukan antara partikel bermassa m dengan partikel fluida sekelilingnya. Gaya $F(t)$ merupakan fungsi yang berfluktuatif pada waktu t dan berubah-ubah acak.

Fluktuasi $F(t)$ menyebabkan v yang berfluktuasi terhadap waktu. Kecepatan v yang berfluktuasi seperti pada **Persamaan 2.39**

$$v = \bar{v} + v' \quad (2.39)$$

Dengan \bar{v} merupakan kecepatan rerata berupa fungsi yang berubah lebih lambat dibandingkan dengan v , kecepatan ini menentukan perilaku partikel dalam jangka waktu yang panjang, sedangkan v' adalah kecepatan yang berfluktuasi secara cepat. Gaya F juga dipengaruhi oleh gerakan partikel dengan F sendiri memiliki suku yang berubah secara lambat yaitu \bar{F} yang cenderung bekerja sebagai gaya pembalik. **Persamaan 2.40** menjelaskan mengenai gaya F (Romadani dan Rosyid, 2022).

$$F = \bar{F} + F' \quad (2.40)$$

Persamaan 2.41 menyatakan besarnya nilai \bar{F} , yaitu sebagai berikut

$$\bar{F} = -\alpha \bar{v} \quad (2.41)$$

Dimana α merupakan konstanta gesekan dengan tanda minus menunjukkan bahwa gaya \bar{F} bekerja dengan mengurangi kecepatan menuju nol seiring waktu. **Persamaan 2.42** disebut sebagai persamaan Langervin (Reif, 2009)

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = f(t) - \alpha \frac{dx}{dt} + F'(t) \quad (2.42)$$

2.7 Saham

2.7.1 Pengertian Saham

Saham adalah surat berharga yang dikeluarkan oleh sebuah perusahaan yang berbentuk perseroan terbatas (PT) atau yang disebut dengan emiten. Saham berwujud selembar kertas yang menerangkan bahwa pemilik kertas adalah pemilik perusahaan yang menerbitkan surat berharga tersebut. Porsi kepemilikan ditentukan oleh seberapa besar penyertaan yang ditanamkan di perusahaan tersebut. Dengan menyertakan kepemilikan kertas saham tersebut, maka pihak tersebut memiliki hak atas pendapatan perusahaan, hak atas asset perusahaan, dan berhak untuk hadir dalam Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS). Menerbitkan saham merupakan salah satu pilihan perusahaan ketika memutuskan untuk mendapatkan pendanaan (Nurhayati, 2016).

Sedangkan Menurut Sawidji (2012), saham (*stock*) merupakan salah satu instrumen pasar keuangan yang paling populer berbentuk secarik kertas yang menunjukkan hak pemodal (yaitu pihak yang memiliki kertas tersebut) untuk memperoleh bagian dari prospek atau kekayaan organisasi yang menerbitkan sekuritas tersebut dan berbagai kondisi yang memungkinkan pemodal tersebut menjalankan haknya (Sawidji, 2012).

Motivasi dan harapan setiap investor adalah mendapatkan keuntungan dari transaksi investasi yang mereka lakukan. Pada dasarnya, ada dua keuntungan yang diperoleh investor dengan membeli atau memiliki saham, yaitu:

1. *Dividen*

Dividen merupakan pembagian keuntungan yang diberikan perusahaan dan berasal dari keuntungan yang dihasilkan perusahaan. *Dividen* diberikan setelah mendapat persetujuan dari pemegang saham dalam RUPS. Jika seorang pemodal ingin mendapatkan *dividen*, maka pemodal tersebut harus memegang saham tersebut dalam kurun waktu tertentu, yaitu hingga kepemilikan saham tersebut berada dalam periode dimana diakui sebagai pemegang saham yang berhak mendapatkan *dividen*. Terdapat 2 (dua) jenis *dividen* yang dibagikan perusahaan, yaitu dapat berupa:

- A. *Dividen* tunai yang berarti kepada setiap pemegang saham diberikan *dividen* berupa uang tunai dalam jumlah rupiah tertentu untuk setiap saham
- B. *Dividen* saham yang berarti kepada setiap pemegang saham diberikan *dividen* sejumlah saham sehingga jumlah saham yang dimiliki seorang pemodal akan bertambah dengan adanya pembagian *dividen* saham tersebut (Iman, 2008).

2. *Capital Gain*

Capital Gain merupakan selisih antara harga beli dan harga jual. *Capital gain* terbentuk dengan adanya aktivitas perdagangan saham di pasar sekunder. Misalnya Investor membeli saham ABC dengan harga per saham Rp 3.000 kemudian menjualnya dengan harga Rp 3.500 per saham yang berarti pemodal tersebut mendapatkan *capital gain* sebesar Rp 500 untuk setiap saham yang dijualnya (Koetin, 2002).

Menurut Purnomo dan Hariani (2010), ada beberapa risiko yang dihadapi pemodal dengan kepemilikan sahamnya, antara lain seperti:

a. Tidak mendapat *dividen*

Perusahaan akan membagikan dividen jika operasinya menghasilkan keuntungan. Oleh karena itu, perusahaan tidak dapat membagikan *dividen* jika mengalami kerugian. Dengan demikian, potensi ditentukan oleh kinerja perusahaan tersebut (Purnomo dan Hariani, 2010).

b. *Capital loss*

Dalam aktivitas perdagangan saham, investor tidak selalu mendapatkan capital gain atau keuntungan atas saham yang dijualnya. Ada kalanya investor harus menjual saham dengan harga jual lebih rendah dari harga beli saham. Terkadang untuk menghindari potensi kerugian yang semakin besar seiring terus menurunnya harga saham seorang investor rela menjual sahamnya dengan harga rendah atau sering disebut dengan istilah *cut loss* (Purnomo dan Hariani, 2010).

c. Perusahaan bangkrut atau *dilikuidasi*

Risiko likuidasi terjadi ketika perusahaan yang sahamnya dimiliki pemodal dinyatakan bangkrut oleh pengadilan atau perusahaan tersebut dibubarkan. Dalam hal ini, pemilik saham mendapat prioritas terakhir setelah seluruh kewajiban perusahaan dilunasi dari hasil penjualan kekayaan perusahaan (Purnomo dan Hariani, 2010).

d. *Delisting* dari bursa

Penghapusan perusahaan di bursa (*delisting*) dapat juga terjadi. Apabila suatu perusahaan telah tidak lagi listing pada bursa, maka perusahaan tersebut akan berubah status dari perusahaan publik menjadi perusahaan privat. Jika itu terjadi, maka investor akan kesulitan dalam melakukan transaksi jual beli atau keluar masuk dalam kepemilikan saham (Purnomo dan Hariani, 2010).

Pada pasar saham variabel yang sering digunakan adalah volume dan harga saham. Volume merupakan banyaknya aset-aset yang telah di perjualbelikan dalam periode waktu tertentu. Berdasarkan kebutuhan analisa keuangan, harga saham dapat dinyatakan dalam beberapa bentuk. Saat seseorang membeli saham pada periode waktu t dan harga $S(t)$. Kemudian menyimpannya dalam waktu dt , saat waktu $t + dt$, harga saham mengalami perubahan menjadi $S(t + dt)$. *Return* yang dihasilkan pada data tersebut ditulis pada **Persamaan 2.43**

$$r(t) = \frac{S(t+dt) - S(t)}{S(t)} \quad (2.43)$$

2.7.2 Jenis-Jenis Saham

Secara umum saham yang dikenal sehari-hari merupakan saham biasa (*common stock*). Ada beberapa sudut pandang untuk membedakan saham, yaitu:

1. Ditinjau dari segi kemampuan dalam hak tagih atau klaim
 - A. Saham biasa (*common stock*)

Saham biasa (*common Stock*) adalah jenis saham yang menempatkan pemiliknya pada posisi paling akhir dalam pembagian dividen dan hak atas harta kekayaan perusahaan apabila perusahaan tersebut dilikuidasi.

B. Saham preferen (*preffered stock*)

Saham preferen (*preffered Stock*) adalah saham yang memberikan hak istimewa kepada pemiliknya, saham preferen memiliki sifat gabungan antara obligasi dan saham biasa (Darmadji, 2006).

2. Dilihat dari cara peralihannya

A. Saham atas unjuk (*bearer stock*)

Saham atas unjuk (*bareer stock*) adalah pada saham tersebut tidak tertulis nama pemiliknya, agar mudah dipindahtangankan dari satu investor ke investor lain.

B. Saham atas nama (*registered stock*)

Saham atas nama (*registered stock*) adalah saham dengan nama pemilik ditulis secara jelas dan cara peralihannya harus melalui prosedur tertentu (Darmadji, 2006).

3. Ditinjau dari kinerja perdagangan

A. Saham unggulan (*blue-chip stock*)

Saham unggulan (*blue-chip stock*) adalah saham biasa dari suatu perusahaan yang memiliki reputasi tinggi, sebagai pemimpin di industri sejenis, memiliki pendapatan yang stabil, dan konsisten dalam membayar dividen.

B. Saham pendapatan (*income stock*)

Saham pendapatan (*income stock*) adalah saham dari suatu perusahaan (*emiten*) yang mempunyai kemampuan membayar dividen lebih tinggi dari rata-rata dividen yang dibayarkan pada tahun sebelumnya.

C. Saham pertumbuhan (*growth stock/well-known*)

Saham pertumbuhan (*growth stock/well-known*) adalah saham-saham dari emiten yang memiliki pertumbuhan pendapatan yang tinggi, sebagai pemimpin di industri sejenis yang mempunyai reputasi tinggi.

D. Saham spekulatif (*speculative stock*)

Saham spekulatif (*speculative stock*) adalah saham suatu perusahaan yang tidak bisa secara konsisten memperoleh penghasilan dari tahun ke tahun, akan tetapi memiliki kemungkinan penghasilan yang tinggi dimasa mendatang, meskipun belum pasti.

E. Saham siklikal (*cyclical stock*)

Saham siklikal (*cyclical stock*) adalah saham yang tidak terpengaruh oleh kondisi ekonomi makro maupun situasi bisnis secara umum (Tambunan, 2008).

2.8 Bahasa Pemrograman *Python*

Python merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi yang dirancang pertama kali pada tahun 1991 oleh seorang ilmuwan bernama Guido van Rossum. Hingga saat ini *Python* masih dikembangkan oleh *Python Software Foundation* (Milliken, 2020).

Python juga dikenal sebagai salah satu bahasa pemrograman yang mudah dipelajari karena struktur sintaknya rapih dan mudah dipahami. *Python* melakukan eksekusi sejumlah instruksi multi guna secara langsung (*interpretatif*) dengan metode orientasi objek (*Object Oriented Programming*) serta menggunakan semantik dinamis untuk memberikan tingkat keterbacaan syntax. Sebagai bahasa pemrograman tingkat tinggi, *python* dapat dipelajari dengan mudah karena sudah dilengkapi dengan manajemen memori otomatis (*pointer*). Perbedaan program *python* terhadap program lainnya terlihat pada **Gambar 2.1**

```

C++ "Hello World"
#include <iostream.h>
main()
{
cout << "Hello World! ";
}
return 0

Java "Hello World"
class HelloWorldApp
{
public static void main(String[] args)
{
System.out.println("Hello World!");
}
}

Python
print "Hello world"

```

Gambar 2. 1 Perbedaan Bahasa program C++, Java dan Python (Maliken, 2020).

Python juga salah satu keterampilan yang paling dicari dalam industri teknologi saat ini, karena bahasa pemrograman *python* digunakan oleh perusahaan seperti Google, Facebook, IBM. *Python* digunakan untuk membangun aplikasi seperti Instagram, Pinterest, Dropbox, program CLI, Program GUI (desktop), Aplikasi Mobile, Web, IoT, Game dan lain lain (Kalb, 2018).

Bahasa pemrograman *Python* didukung oleh 140.000 *library* yang dikembangkan melalui *open source project*. *Library* pada *python* merupakan sebutan untuk program tambahan yang digunakan dalam kebutuhan tertentu. Beberapa *library* yang perlu diketahui yaitu sebagai berikut:

1. NumPy

Library ini merupakan singkatan dari *Numerical Python*. Fungsi dari *library* ini untuk membantu menangani permasalahan angka-angka. NumPy memiliki kemampuan dalam membentuk objek N-dimensional array yang mirip dengan MATLAB. NumPy memudahkan penggunaannya dalam operasi Aljabar Linear seperti Vektor dan Matriks.

2. Pandas

Pandas dapat memuat sebuah file ke dalam tabel virtual menyerupai spreadsheet. Pandas juga berfungsi mengolah suatu data seperti teknik join, distinct, group by, agregasi, dan teknik lainnya seperti pada SQL. Bedanya, ini dilakukan pada tabel. Kelebihan dari *library* ini juga dapat membaca file dari berbagai format seperti .txt, .csv, dan .tsv.

3. Matplotlib

Library Matplotlib ini akan membantu dalam menampilkan hasil analisis berupa grafik berwarna dengan lebih rapi dan menarik. Ada dua jenis plot dalam menampilkan data yaitu secara 2D dan 3D. Sehingga data bisa ditampilkan sesuai dengan kebutuhan. Matplotlib ini merupakan *library* yang paling sering digunakan oleh data *science* dalam menyajikan datanya ke dalam visual yang lebih menarik (Maliken, 2020).

Terdapat beberapa keunggulan bahasa pemrograman *Python* yaitu sebagai berikut:

1. *Python* Bahasa Pemrograman *Open Source*

Python dapat digunakan secara bebas, bahkan untuk kepentingan komersial sekalipun. Banyak perusahaan yang mengembangkan bahasa pemrograman python secara komersial untuk memberikan layanan. Misalnya *Anaconda Navigator*, adalah salah satu aplikasi untuk pemrograman python yang dilengkapi dengan tool pengembangan aplikasi (Hajar dan Kadrina, 2019).

2. *Rapid Application Development*

Python diklaim mampu memberikan kecepatan dan kualitas untuk membangun aplikasi bertingkat (*Rapid Application Development*). Hal ini didukung oleh adanya *library* dengan modul-modul baik standar maupun tambahan misalnya *NumPy*, *SciPy*, dan lain-lain. *Python* juga mempunyai komunitas yang besar sebagai tempat tanya jawab. Mesin pencari Google adalah contoh nyata dari penggunaan bahasa pemrograman python dalam kehidupan sehari-hari.

Mesin pencari ini termasuk *Rapid Application Development*, ia tidak hanya berguna untuk mencari halaman *website*. Kolom pencarian Google juga dapat digunakan sebagai kalkulator, membuat grafik fungsi, memprediksi cuaca, terjemahan, mencari dengan gambar, menanyakan hari, pemesanan tiket pesawat, dan lain-lain (Hajar dan Kadrina, 2019).

3. *Python* mendukung berbagai sistem operasi

Syntax python dapat dijalankan dan ditulis untuk membangun aplikasi di berbagai sistem operasi seperti *Linux/Unix, Microsoft Windows, Mac OS, Android, Java Virtual Machine, Symbian OS, Amiga, Palm, dan OS/2.*

4. Aplikasi penggunaan bahasa pemrograman *Python*

Python digunakan di berbagai bidang pengembangan. Berikut beberapa aplikasi penggunaan *python* yang paling populer, yaitu:

1. Website dan Internet
2. Penelitian Ilmiah dan Numerik
3. *Data Science* dan *Big Data*
4. Media pembelajaran pemrograman
5. *Graphical User Interface (GUI)*
6. Pengembangan *Software*
7. Aplikasi bisnis (Hajar dan Kadrina, 2019).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika Dasar dan Instrumentasi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam ,Universitas Lampung selama 5 bulan dimulai pada bulan Maret 2022 hingga bulan September 2022.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.2.1 Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras yang digunakan untuk mengolah program dan membuat laporan penelitian adalah Personal Computer (PC). Adapun spesifikasi PC yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.1**

Tabel 3. 1 Spesifikasi PC

Deskripsi	Spesifikasi
Merk	Asus X453MA
<i>Processor</i>	Intel Pentium Dual Core N3540 DOS 2.16GHz
RAM	2GB DDR3
Hardisk	500 GB
<i>Operating System</i>	Microsoft Windows 8.1 Original
Ukuran	34,8 x 24,2 x 2,53 cm
Berat	1,8 kg

3.2.2 Data Harga Saham

Data harga saham pada penelitian ini menggunakan data perusahaan di sektor *finance* dan subsektor Bank yaitu PT.Bank Mandiri Tbk. yang diambil dari *finance.yahoo.com* dari Januari 2016 hingga Desember 2019.

3.2.3 Perangkat Lunak (*Software*)

Software yang digunakan pada penelitian ini adalah google colabs dengan menggunakan bahasa pemrograman *source code python* dan menggunakan Microsoft Excel 2016 untuk pembuatan model dan perhitungan secara manual.

3.3 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini diantara studi literatur, pengambilan data harga saham, pengelolaan data harga saham, pendekatan model potensial dalam osilator tak harmonik mekanika kuantum, pencocokan model osilator tak harmonik mekanika kuantum dengan data harga saham PT.Bank Mandiri Tbk.

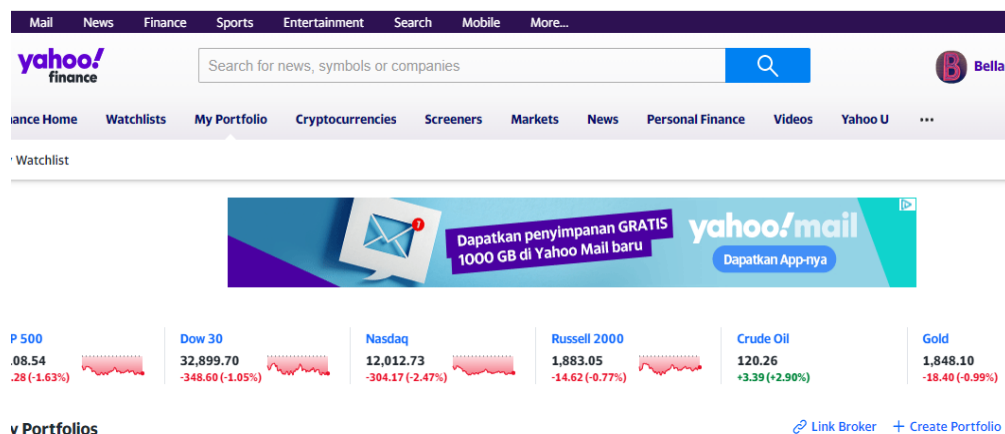
3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan pada penelitian ini untuk mengetahui konsep-konsep dasar yang menunjang penelitian. Literatur yang dikaji pada penelitian ini berkaitan dengan pasar saham dalam teori ekonomi, mekanika kuantum dalam bidang ekonomi, implementasi harga saham menggunakan pendekatan model potensial dalam osilator tak harmonik, persamaan Langervin analisis menggunakan bahasa pemrograman *Python*.

3.3.2 Persiapan/Pengumpulan Data Harga Saham

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan data yang akan digunakan pada penelitian berupa data harga saham PT. Bank Mandiri Tbk dari bulan Januari tahun 2016 sampai bulan Desember 2019. Data ini diperoleh dari salah satu sumber yang menyajikan data harga histori saham dalam kurun waktu yang cukup panjang yaitu *yahoo finance*. Berikut langkah-langkah pengambilan data harga saham di *yahoo finance* :

1. Langkah pertama untuk mengambil data tersebut yaitu dengan cara memasukan alamat <https://finance.yahoo.com/> pada halaman pencarian internet. Kemudian akan muncul tampilan halaman seperti Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Tampilan halaman yahoo finance

2. Langkah berikutnya memasukan kode saham PT. Bank Mandiri Tbk. pada kolom pencarian yaitu BMRI diakhiri dengan kode .JK. Kode JK merupakan singkatan yang diberikan oleh *yahoo finance* untuk saham-saham perusahaan yang ada di Indonesia. Kode akhir .JK merupakan kepanjangan JKSE yang memiliki arti Jakarta *Composite Index*.
3. Setelah memasukan kode saham BMRI.JK, klik *GO*.
4. Mengatur periode waktu data yang ingin diambil pada bagian *SET DATE*

RANGE. Terdapat beberapa variasi data pada harga saham yaitu data *Daily* (harian), *Weekly* (Mingguan), *Monthly* (Bulan). Pada penelitian variasi data saham yang digunakan adalah variasi data saham harian.

- Setelah menyesuaikan data yang ingin diambil kemudian, klik *Get Price* dan *Download to Spreadsheet*. Hasil yang diperoleh dari yahoo finance berupa data dalam bentuk format Microsoft Excel atau CSV. Data saham ditampilkan dalam bentuk tabel yang memuat tanggal (*date*), harga pembukaan (*open*), harga tertinggi (*high*), harga terendah (*low*), harga penutupan (*adj close*), dan volume yang ditunjukkan pada Gambar 3.2

Date	Open	High	Low	Close*	Adj Close**	Volume
Dec 27, 2019	7,825.00	7,825.00	7,725.00	7,750.00	6,809.34	29,091,400
Dec 26, 2019	7,775.00	7,825.00	7,750.00	7,800.00	6,853.27	70,468,200
Dec 23, 2019	7,800.00	7,800.00	7,675.00	7,725.00	6,787.37	65,623,400
Dec 20, 2019	7,550.00	7,700.00	7,550.00	7,700.00	6,765.41	75,236,100
Dec 19, 2019	7,525.00	7,600.00	7,475.00	7,600.00	6,677.54	56,451,600
Dec 18, 2019	7,350.00	7,550.00	7,325.00	7,525.00	6,611.65	61,640,800
Dec 17, 2019	7,350.00	7,400.00	7,325.00	7,350.00	6,457.89	50,395,000
Dec 16, 2019	7,350.00	7,425.00	7,350.00	7,350.00	6,457.89	48,018,700
Dec 13, 2019	7,400.00	7,450.00	7,350.00	7,375.00	6,479.85	63,736,200
Dec 12, 2019	7,325.00	7,450.00	7,275.00	7,300.00	6,413.96	39,869,300

Gambar 3. 2 Tampilan Data Harga Saham PT.Bank Mandiri Tbk.

Pada penelitian ini menggunakan data harga saham PT. Bank Mandiri Tbk Bulan Januari 2016 hingga Desember 2019 (Terdapat pada Lampiran 1). Grafik yang dihasilkan dari data tersebut terlihat pada **Gambar 3.3**



Gambar 3.3 Grafik Data Saham PT. Bank Mandiri Tbk Bulan Januari 2016 hingga Desember 2019

Pada grafik tersebut menunjukkan hubungan antara data harga saham penutupan (Adj Close) terhadap waktu.

3.3.3 Pendekatan Model Potensial dalam Osilator Tak Harmonik Pada Harga Saham

Pada tahap ini dilakukan pendekatan untuk mengetahui model mekanika kuantum yang sesuai dengan kasus harga saham. Pendekatan dilakukan menggunakan model ini karena dalam hal memprediksi sistem yang bersifat probabilistik yang dapat menjelaskan hasil prediksi saham yang tidak sesuai oleh model-model konvensional akibat pengabaian parameter-parameter *hidden* dalam model tersebut.

Pada mekanika klasik sebuah partikel dalam waktu tertentu hanya memiliki satu posisi, begitu juga dengan menganalogikan harga saham sebagai partikel. Harga saham memiliki satu nilai saham pada mekanika klasik. Permodelan mekanika kuantum dalam pasar saham dilakukan dengan menganalogikan harga saham

sebagai suatu partikel dalam suatu potensial seperti pada sistem kuantum. Pergerakan harga saham (*return*) dianalogikan sebagai perubahan posisi partikel. Harga saham yang telah dianalogikan dapat dinyatakan dalam bentuk fungsi gelombang, fungsi gelombang yang dihasilkan dapat menyatakan besaran yang menyimpan segala informasi terkait keadaan saham di ruang harga. Potensial eksternal yang mempengaruhi partikel $V(x)$ dapat dianalogikan sebagai informasi eksternal yang mempengaruhi harga saham. Massa partikel (m) dapat dianalogikan sebagai banyaknya saham yang beredar di pasar saham.

Fungsi gelombang untuk harga saham dapat diperoleh dari persamaan Schrödinger. Persamaan tersebut merupakan persamaan tenaga dengan operator tenaga yaitu Hamiltonian. Analogi besaran fisika dan besaran ekonomi secara ringkas dapat dilihat dalam **Tabel 3.2**

Tabel 3. 2 Analogi Besaran Fisika dan Besaran Ekonomi

Besaran Fisika	Besaran Ekonomi
Posisi (x)	<i>Return</i> (r)
Potensial $V(x)$	Potensial Saham $V(r)$
Massa partikel (m)	Banyaknya saham yang beredar di pasar saham (m_s)
Fungsi Gelombang $\varphi(x)$	Fungsi Harga Saham $\varphi(r)$

Besaran-besaran fisis pada mekanika kuantum dinyatakan oleh operator hermitian. Nilai besaran fisis merupakan swanilai dari operator yang bersangkutan. Hamiltonian berisi faktor-faktor yang dapat mempengaruhi pergerakan *return* harga saham. Pada penelitian ini dikaji persamaan Hamiltonian yang bersesuaian bagi pergerakan harga saham (*return*) dengan mengikuti harga saham proses stokastik.

Proses stokastik pada penelitian ini digambarkan dengan menggunakan persamaan

Langervin (persamaan differensial stokastik). Merumuskan persamaan Langervin bagi pasar saham diawali dengan mengasumsikan pasar saham terdiri dari tiga pelaku, yaitu *market maker*, *contrarian* dan *trend follower* (Bouchaud dan Cont, 2000). Dinamika *return* yang dipengaruhi oleh pelaku-pelaku yang membentuk pasar saham dituliskan pada **Persamaan 3.1**

$$r(t) = \frac{\Delta\phi}{\lambda} \quad (3.1)$$

$r(t)$ merupakan *return* sesaat, $\Delta\phi$ adalah *order excess* dan λ merupakan *market dept* yaitu ukuran seberapa besar *excess demand* yang dibutuhkan untuk menaikkan satu satuan harga saham. *Excess demand* terjadi ketika jumlah yang diminta (permintaan) melebihi jumlah yang disediakan. Persamaan *excess demand* dituliskan pada **Persamaan 3.2**

$$\Delta\phi = \phi_+ - \phi_- \quad (3.2)$$

Dengan ϕ_+ merupakan permintaan dan ϕ_- merupakan penawaran. Pada penelitian ini pasar saham diasumsikan terdiri atas tiga pelaku, yaitu *market maker*, *trend follower*, dan *contrarian*. *Market maker* merupakan perantara antara penjual dan pembeli. *Market maker* menyerap permintaan atau penawaran ketika keduanya tidak cocok. *Market maker* biasanya berupa bank atau institusi keuangan. *Market maker* menjaga supaya pasar tetap likuid dan jual beli berjalan dengan baik dengan cara membeli dan menjual saham. Hambatan transaksi jual beli contohnya adalah penjual saham tidak dapat melepas sahamnya karena kurangnya pembeli. *Trend follower* dan *contrarian* merupakan pelaku pasar yang melakukan kegiatan jual beli yang bertindak berdasarkan *anticipated return*. Fluktuasi *return* pada masa lampau dianggap memiliki suatu informasi (Bouchaud dan Cont, 2000). *Trend follower* melakukan pembelian saham saat harganya naik, dan melakukan

penjualan saham saat harga saham turun. *Contrarian* berlaku berkebalikan dari *trend follower*, yaitu melakukan pembelian saham saat harganya turun dan melakukan penjualan saat harga saham naik. *Contrarian* berinvestasi dengan melawan tren pasar. Ketika banyak orang melakukan pembelian saham maka *contrarian* akan melakukan penjualan dan sebaliknya, ketika banyak orang melakukan penjualan saham maka *contrarian* akan melakukan pembelian.

Market maker dapat digambarkan melalui **Persamaan 3.3** (Gao dan Chen, 2017):

$$\left. \frac{d\Delta\theta}{dt} \right|_{MM} = -\gamma\Delta\theta \quad (3.3)$$

Pada **Persamaan 3.3** Indeks MM menyatakan bahwa dinamika tersebut merupakan kontribusi dari *market maker*. γ adalah parameter yang mengukur tingkat kemampuan market maker dalam order, sedangkan tanda minus berarti market maker menurunkan jumlah order

Contrarian dapat digambarkan melalui **Persamaan 3.4** (Gao dan Chen, 2017):

$$\left. \frac{d\Delta\theta}{dt} \right|_{CT} = -(x_{CT} - y_{CT}r^2)r \quad (3.4)$$

Pada **Persamaan 3.4** label CT menyatakan bahwa dinamika tersebut merupakan kontribusi dari *contrarian*.

Trend follower dapat digambarkan melalui **Persamaan 3.5**

$$\left. \frac{d\Delta\theta}{dt} \right|_{TF} = (x_{TF} - y_{TF}r^2)r \quad (3.5)$$

x_{CT} dan x_{TF} merupakan parameter yang mewakili ukuran ketergantungan *contrarian* maupun *trend follower* dalam memandang *anticipated return*, sedangkan $y_{CT}r^2$ dan $y_{TF}r^2$ merupakan parameter yang menunjukkan *contrarian* maupun *trend follower* cenderung semakin ragu dalam melakukan order jika volatilitas *return* harga saham semakin besar.

Dinamika *return* secara umum ditulis pada **Persamaan 3.6** yang diacu dari **Persamaan 3.1**, yaitu

$$\frac{dr}{dt} = \frac{1}{\lambda} \frac{d\Delta\emptyset}{dt} \quad (3.6)$$

Atau dapat ditulis seperti **Persamaan 3.7** dan **Persamaan 3.8**

$$\frac{dr}{dt} = \frac{1}{\lambda} \frac{d}{dt} (\emptyset_+ - \emptyset_-) \quad (3.7)$$

$$\frac{dr}{dt} = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{d\emptyset_+}{dt} - \frac{d\emptyset_-}{dt} \right) \quad (3.8)$$

Mengingat bahwa nilai $\Delta\emptyset = \emptyset_+ - \emptyset_-$. Berdasarkan **Persamaan 3.3** dan **Persamaan 3.8** sehingga nilai *return* pada market maker dapat ditulis seperti **Persamaan 3.9**, **Persamaan 3.10** dan **Persamaan 3.11**

$$\left. \frac{dr}{dt} \right|_{MM} = \frac{1}{\lambda} (-\gamma\emptyset_+ + \gamma\emptyset_-) \quad (3.9)$$

$$\left. \frac{dr}{dt} \right|_{MM} = \gamma \left(\frac{-\emptyset_+ + \emptyset_-}{\lambda} \right) \quad (3.10)$$

$$\left. \frac{dr}{dt} \right|_{MM} = \gamma \left(\frac{-\Delta\emptyset}{\lambda} \right) \quad (3.11)$$

Kontribusi *market maker* pada dinamika *return* pasar saham dapat ditulis seperti **Persamaan 3.12**

$$\left. \frac{dr}{dt} \right|_{MM} = -\gamma r \quad (3.12)$$

Nilai *contrarian* pada dinamika *return* pasar saham didapatkan dari hasil substitusi **Persamaan 3.4** ke **Persamaan 3.6**, maka dihasilkan **Persamaan 3.13** dan **Persamaan 3.14** berikut:

$$\left. \frac{dr}{dt} \right|_{CT} = - \frac{(xCT - yCTr^2)r}{\lambda} \quad (3.13)$$

$$\left. \frac{dr}{dt} \right|_{CT} = - \frac{xCTr}{\lambda} + \frac{yCTr^3}{\lambda} \quad (3.14)$$

Nilai *trend follower* pada dinamika *return* pasar saham didapatkan dari hasil substitusi **Persamaan 3.5** ke **Persamaan 3.6**, maka dihasilkan **Persamaan 3.15** dan **Persamaan 3.16** berikut:

$$\left. \frac{dr}{dt} \right|_{TF} = -\frac{(xTF - yTFr^2)r}{\lambda} \quad (3.15)$$

$$\left. \frac{dr}{dt} \right|_{TF} = -\frac{xTFr}{\lambda} + \frac{yTFr^3}{\lambda} \quad (3.16)$$

Market maker, *contrarian*, dan *trend follower* menjadi pembentuk dinamika *return* pasar saham. Sehingga dinamika *return* pasar saham didapatkan dari hasil penjumlahan dinamika *return* dari 3 komponen pelaku pasar saham. Dinamika *return* tersebut didapat seperti pada **Persamaan 3.17** (Bouchaund dan Cont, 2000)

$$\frac{dr}{dt} = \left. \frac{dr}{dt} \right|_{MM} + \left. \frac{dr}{dt} \right|_{CT} + \left. \frac{dr}{dt} \right|_{TF} \quad (3.17)$$

Mensubstitusi **Persamaan 3.12** dinamika *return marker maker*, **Persamaan 3.14** dinamika *return contrarian* dan **Persamaan 3.16** dinamika *retrun trend follower* ke **Persamaan 3.17** sehingga didapat persamaan dinamika *return* pasar saham seperti **Persamaan 3.18**, **Persamaan 3.19** dan **Persamaan 3.20**

$$\frac{dr}{dt} = -\gamma r + \left(-\frac{xCTr}{\lambda} + \frac{yCTr^3}{\lambda}\right) + \left(-\frac{xTFr}{\lambda} + \frac{yTFr^3}{\lambda}\right) \quad (3.18)$$

$$\frac{dr}{dt} = -\gamma r - \frac{xCTr}{\lambda} + \frac{xTFr}{\lambda} + \frac{yCTr^3}{\lambda} + \frac{yTFr^3}{\lambda} \quad (3.19)$$

$$\frac{dr}{dt} = -\gamma r + \frac{(-xCT+xTF)r}{\lambda} + \frac{(yCT-yTF)r^3}{\lambda} \quad (3.20)$$

Dengan nilai $(xCT - xTF)/\lambda = c$ dan nilai $yCT/xCT = yTF/xTF = k$,

sehingga **Persamaan 3.20** Persamaan dinamika *return* pasar saham berubah

bentuk seperti **Persamaan 3.21**, **Persamaan 3.22** dan **Persamaan 3.23**

$$\frac{dr}{dt} = -\gamma r - cr + \frac{(yCT-yTF)r^3}{\lambda} \quad (3.21)$$

$$\frac{dr}{dt} = -\gamma r - cr + \frac{(y_{CT}-y_{TF})}{(x_{CT}-x_{TF})} cr^3 \quad (3.22)$$

$$\frac{dr}{dt} = -\gamma r - cr + kcr^3 \quad (3.23)$$

Menurut penelitian Bouchaund dan Cont (2000), *return* harga saham dapat dituliskan melalui persamaan Langervin yang memiliki bentuk seperti **Persamaan 2.24**

$$m_r \frac{d^2 r}{dt^2} = -\alpha \frac{dr}{dt} - \frac{dV(r)}{dr} + F'(t) \quad (3.24)$$

dengan m_r merupakan konstanta return, α merupakan konstanta gesekan, $V(r)$ merupakan potensial tak gayut waktu, dan F' merupakan gaya acak dengan rata-rata nol. Berdasarkan **Persamaan 3.23** dan **Persamaan 3.24** pada keadaan $m_r \frac{d^2 r}{dt^2} = 0$ didapatkan **Persamaan 3.25**

$$\frac{dV(r)}{dr} = (\gamma + c)r - kcr^3 \quad (3.25)$$

Dengan menyelesaikan **Persamaan 3.25** maka kita mendapatkan nilai potensial tak gayut waktu berbentuk osilator tak harmonik yang ditulis seperti **Persamaan 3.26**

$$V(r) = \frac{1}{2}(\gamma + c)r^2 - \frac{1}{4}kcr^4 \quad (3.26)$$

Nilai potensial **Persamaan 3.26** disederhanakan dengan mengkali ruas kanan dan kiri dengan 2, sehingga nilai potensial tak gayut waktu osilator tak harmonik ditulis seperti **Persamaan 3.27**

$$V(r) = (\gamma + c)r^2 + \frac{1}{2}kcr^4 \quad (3.27)$$

3.3.4 Penyelesaian Persamaan Schrödinger bagi Pasar Saham

Nilai potensial pada **Persamaan 3.26** dapat disubstitusikan kedalam persamaan Schrödinger tak gayut waktu pada Persamaan 2.25 sehingga diperoleh bentuk Persamaan Schrödinger yang baru seperti **Persamaan 3.28**

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\varphi(r)}{dr^2} + \left[\frac{1}{2}(\gamma + c)r^2 - \frac{1}{4}kcr^4 \right] \varphi(r) = E\varphi(r) \quad (3.28)$$

Pada persamaan 3.27 $\varphi(r)$ merupakan swafungsi dan E merupakan swanilai. Nilai m merupakan sifat-sifat intristik saham pada pasar saham dan \hbar merupakan ketidakpastian transaksi irasional dari pasar saham. Oleh karena itu, apabila nilai m dan \hbar diasumsikan bernilai 1, maka nilai $\frac{\hbar^2}{m} = 1$ (Gao dan Chen, 2017).

Sehingga diperoleh **Persamaan 3.29**

$$-\frac{1}{2} \frac{d^2\varphi(r)}{dr^2} + \left[\frac{1}{2}(\gamma + c)r^2 - \frac{1}{4}kcr^4 \right] \varphi(r) = E\varphi(r) \quad (3.29)$$

Persamaan 3.29 dapat disederhanakan sehingga didapat nilai Persamaan Schrödinger tak gayut waktu bagi pasar saham pada **Persamaan 3.30**

$$\frac{d^2\varphi(r)}{dr^2} + \left[2E - (\gamma + c)r^2 + \frac{1}{2}kcr^4 \right] \varphi(r) = 0 \quad (3.30)$$

Persamaan Schrödinger yang digunakan pada pasar saham dapat digunakan untuk pasar saham yang bersifat stasioner. Persamaan Schrödinger didapatkan dengan mengubah bentuk turunan kedua ke bentuk numerik. Nilai turunan kedua pada titik x_0 dengan h sebagai selisih interval antar titik didapatkan dengan pendekatan numerik pada **Persamaan 3.29**

$$f'' \approx \frac{f_{-1} + 2f_0 + f_1}{h^2} \quad (3.29)$$

Persamaan Schrödinger yang digunakan pada pasar saham merupakan penyelesaian persamaan Schrödinger dalam keadaan *ground state*. Nilai

swafungsi dan swanilai persamaan Schrödinger didapatkan dari *library numpy* dalam pemrograman *Python*. *Source code* penyelesaian persamaan Schrödinger menggunakan bahasa pemrograman *Python* yaitu:

- a. Memasukan *library numpy* (matrik *numpy*) atau biasa disingkat sebagai *np*

```
import numpy as np
```

- b. Memasukan *library matplotlib* di *python* atau biasa disingkat sebagai *plt*

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

- c. Memasukan nilai komponen yang membentuk persamaan Schrödinger

```
N = 1017
a = 0.1
hbar = 1
m = 1
γ = 10**6
c = 0.1*γ
k = 0.01
En = 0
```

Dengan *N* merupakan banyaknya data harga saham yang digunakan pada penelitian ini dari tanggal 04 Januari 2016 hingga 27 Desember 2019 sebanyak 1017 data harga saham. Nilai *m* dan \hbar diasumsikan bernilai 1, nilai γ (gamma) pada *source code python* ditulis sebagai *g* bernilai 10^6 , koefisien *k* diasumsikan bernilai 0.01,

- d. Menyelesaikan persamaan Schrödinger

```
V = 1/2 * (γ+c) * x**2 - 1/4 * k * c * x**4

td = 1/h**2 * (np.diag(-2*np.ones(N), 0) +
              np.diag(np.ones(N-1), -1) +
              np.diag(np.ones(N-1), 1))
H = -1/(2*m) * hbar**2 * td + np.diag(V)
E, psis = np.linalg.eigh(H)
_psi = np.transpose(psis)
psi_ = _psi * _psi
```

e. Menampilkan hasil dalam bentuk grafik

```
plt.figure(figsize=(15,5))

plt.subplot(1,2,1)
plt.plot(x, V, label='V(r)')
plt.xlabel('Return')
plt.ylabel('V(r)')
plt.legend()
plt.subplot(1,2,2)
plt.plot(x, psi_1[En], label='c = 0.1*y')

plt.xlabel('Return')
plt.ylabel('Rapat Probabilitas')
plt.legend()
plt.show()
```

3.3.5 Pengolahan Data Harga Saham PT. Bank Mandiri Tbk.

Data saham PT. Bank Mandiri Tbk. Saham yang digunakan adalah harga saham penutupan harian sejak bulan Januari 2016 sampai Desember 2019. Dari harga penutupan PT. Bank Mandiri Tbk. dihitung *return* harga saham berdasarkan **Persamaan 2.43**. Kemudian mengelompokan data return ke dalam beberapa kelompok, lalu menghitung distribusi frekuensi (banyaknya data yang masuk ke tiap kelompok).

Probabilitas adalah sebuah kemungkinan atau peluang yang diperoleh dari suatu peristiwa (Setiawan dkk, 2016). Rumus yang digunakan untuk menentukan nilai probabilitas terdapat pada **Persamaan 3.30**

$$P(E) = \frac{X}{N} \quad (3.30)$$

Dengan

$P(E)$ = Probabilitas (Peluang)

X = Distribusi (Banyaknya kemungkinan yang terjadi)

N = Jumlah seluruh kemungkinan yang akan terjadi (jumlah data harga saham yang digunakan pada penelitian) (Setiawan et al., 2016).

Setelah itu mencari nilai rapat probabilitas (ρ) harga saham menggunakan **Persamaan**

3.31

$$\rho = P(E) \times \frac{1}{100} \quad (3.31)$$

3.3.6 Pencocokan Model Kuantum pada Data Harga Saham PT. Bank Mandiri Tbk

Perancangan sistem uji dimulai dengan menentukan bentuk model potensial osilator tak harmonik bentuk manual ke dalam bentuk komputasi menggunakan *google colabs* dan bahasa pemrograman *Python*. Model pengembangan ini dilakukan secara sistematis. *Source code* penyelesaian persamaan Schrödinger menggunakan bahasa pemrograman *Python* yaitu:

- a. Menginstal *library* `pandas_datareader` dari versi 0.9 ke versi 0.10.

```
#menginstall library pandas_datareader
!pip install --upgrade pandas_datareader
```

- b. Menampilkan *library* `pandas_datareader` versi terbaru 0.10. Versi `pandas_datareader` pemrograman *Python* versi 0.9 tidak dapat mengambil data harga saham di *yahoo finance*. Sehingga perlu dilakukan penginstalan *library* `pandas_datareader` 0.10. Berikut *script* program, yang digunakan yaitu:

```
#Menampilkan library pandas data reader versi terbaru
!pip show pandas_datareader
```

- c. Memasukan *library* pandas atau biasa disingkat pd, *library* numpy atau biasa disingkat np, *library* pandas_datareader.data atau biasa disingkat web.

```
import pandas as pd
import numpy as np
import pandas_datareader.data as web
```

- d. Mengambil data harga saham PT.Bank Mandiri Tbk. di *yahoo finance* dengan cara mendefinisikan nama kode data saham PT.Bank Mandiri Tbk sebagai BMRI.JK dari *yahoo finance* kemudian memasukan indeks rentang tanggal yang akan diambil dan tipe data *adjust close*. *Source code* pemrograman *python* seperti berikut ini:

```
stock = ['BMRI.JK']

data = web.DataReader(stock, data_source="yahoo", start='01/04/2016', end='12/27/2019')['Close']
data.sort_index(inplace=True)

data.head()
```

- e. Mengolah data harga saham penutupan yang telah diambil di *yahoo finance* ke data harga *return* dengan mengolahnya menggunakan bahasa pemrograman *python*.

```
data['Return'] = data.pct_change()
data
```

- f. Melakukan pencocokan data saham BMRI.JK dengan model osilator potensial tak harmonik mekanika kuantum

```

#PENCOCOKAN DATA HARGA SAHAM BMRI DENGAN MODEL
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
N = 1017
a = 0.1
hbar = 1
m = 1
γ = 1.0*10**7

c = 0.6*γ
k = 0.01
En = 0
x = np.linspace(-a, a, N)
h = x[1] - x[0]

V1 = 1/2 * (γ+c1) * x**2 - 1/4 * k * c1 * x**4

td = 1/h**2 * (np.diag(-
2*np.ones(N), 0) + np.diag(np.ones(N-1), -
1) + np.diag(np.ones(N-1), 1))
H1 = -1/(2*m) * hbar**2 * td + np.diag(V1)
E1, psisl = np.linalg.eigh(H1)
_psil = np.transpose(psisl)
psi_1 = _psil * _psil
r_1 = psi_1[En]/h

```

g. Menampilkan hasil dalam bentuk grafik.

```

#Menampilkan grafik hasil pencocokan
plt.figure(figsize=(10,5))

rapat = [0, 0, 0, 0.196656834, 0, 0.393313668, 0.9832
84169, 3.048180924, 4.818092429, 21.33726647, 3
5.88987217, 22.22222222, 6.588003933, 2.359882
006, 0.884955752, 0.786627335, 0.196656834, 0.098
328417, 0.098328417, 0, 0]

a = 0.1
s = 0.01
t = np.arange(-a, a+s, s)

```

h. Menghitung standar deviasi dari hasil penelitian.

```

#mencari nilai standar deviasi
stdev = data['Return'].std()
stdev

```

3.3.7 Rancangan Data Hasil Penelitian

Data penelitian diperoleh dari hasil perhitungan pergerakan harga saham (*return*), distribusi, probabilitas dan rapat probabilitas (ρ) yang didapat dari data saham PT. Bank Mandiri Tbk. Hubungan antara *return* dan rapat probabilitas yang diperoleh menentukan bentuk plot diagram yang akan dicocokkan dengan menggunakan model potensial osilator tak harmonik mekanika kuantum pada harga saham. Rancangan data penelitian yang diambil seperti **Tabel 3.3**

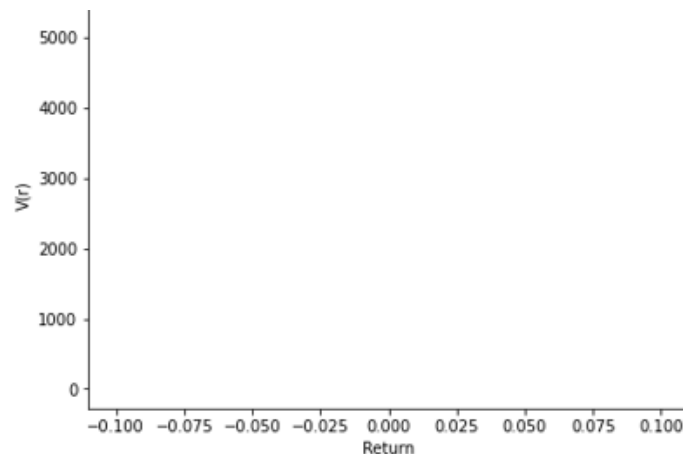
Tabel 3. 3 Hubungan antara besar nilai rapat probabilitas dan return

No	Return (r)	Distribusi Probabilitas	Rapat Probabilitas (ρ)
1			
2			
3			
4			
...			
21			

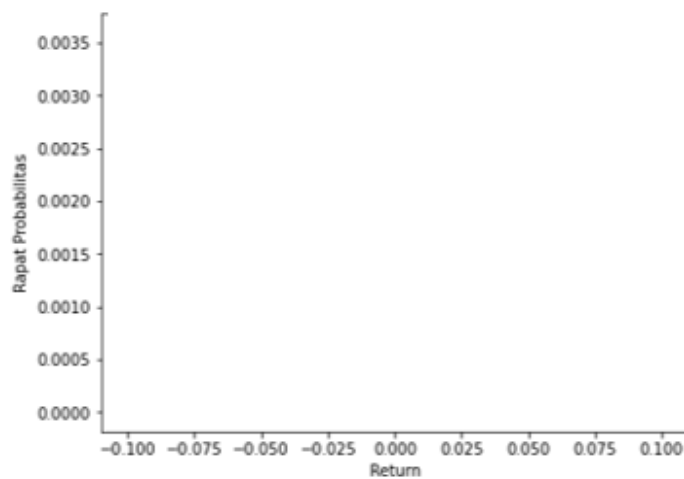
Data yang diperoleh dari hasil implementasi mekanika kuantum pada harga saham PT. Bank Mandiri Tbk dalam model potensial osilator tak harmonik menggunakan persamaan Langervin adalah *return* dan rapat probabilitas.

3.3.8 Rancangan Analisis Data Penelitian

Hasil data yang diperoleh dari perancangan sistem uji dimulai dengan menentukan bentuk model potensial osilator tak harmonik bentuk manual ke dalam bentuk komputasi menggunakan *google colabs* dan bahasa pemrograman *Python* diplot dalam bentuk grafik seperti **Gambar 3.4 dan Gambar 3.5**



Gambar 3. 4 Grafik Hubungan Antara *Return* dan Nilai Potensial (V).



Gambar 3. 5 Grafik Hubungan Antara Return dan Rapat Probabilitas.

Hasil data pengamatan yang diperoleh maka dianalisis bagaimana pencocokan hasil data harga saham terhadap potensial osilator tak harmonik menggunakan persamaan Langervin. Analisis dapat di plot dalam bentuk grafik. Setelah mendapatkan data pengamatan rapat probabilitas dan *return* dari model pasar saham pada keadaan *ground state* (nilai model), kemudian melakukan pencocokan terdapat harga saham yang telah dihitung *return* dan rapat probabilitas saham sesungguhnya berdasarkan **Persamaan 3.32**

$$r(t) = \frac{S(t+dt) - S(t)}{S(t)} \quad (3.32)$$

Pada persamaan tersebut t merupakan waktu dan $S(t)$ merupakan harga saham. Lama waktu penyimpanan harga saham dilambangkan dt . Pada waktu $t + dt$, saham mengalami perubahan sehingga harga saham menjadi $S(t + dt)$ (Mantegna dan Stanley, 1999).

Pencocokan dilakukan dengan menggunakan persamaan Langervian dan mengatur besaran parameter γ sampai menemukan bentuk potensial yang cocok yaitu dengan menunjukkan nilai selisih kuadrat rata-rata antara nilai rapat probabilitas antara nilai sebenarnya dan nilai model osilator tak harmonik, nilai selisih kuadrat rata-rata yang kecil menunjukkan bentuk nilai probabilitas pada model telah mendekati nilai rapat probabilitas sebenarnya. Mencari nilai selisih kuadrat rata-rata dicari dengan menggunakan persamaan **Persamaan 3.33** (Hinton, 2004):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\rho_{si} - \rho_{mi})^2} \quad (3.33)$$

Dimana ρ_{si} merupakan rapat probabilitas data saham ke- i , ρ_{mi} merupakan rapat probabilitas model kuantum ke- i , dan n merupakan banyaknya titik data. Untuk mengevaluasi kinerja pencocokan yang dilakukan menggunakan metode ini, maka perlu dicari nilai simpangan baku σ . Simpangan baku σ berfungsi untuk mengetahui persebaran dari data rapat probabilitas nilai empiris.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Persamaan Schrödinger tak gayut waktu untuk model dinamika harga saham menggunakan potensial osilator tak harmonik yaitu:

$$\frac{d^2\varphi(r)}{dr^2} + \left[2E - (\gamma + c)r^2 + \frac{1}{2}kcr^4 \right] \varphi(r) = 0$$

2. Bentuk model potensial osilator tak harmonik pada harga saham PT.Bank Mandiri Tbk. Pada keadaan *ground state* yaitu:

$$V(r) = 8x10^6r^2 - 1,5x10^4r^4$$

3. Nilai standar deviasi (σ) yang dihasilkan sebesar 0,0175 .

5.2 Saran

Saran untuk pengembangan dan penyempurnaan penelitian selanjutnya yaitu perlu dikaji lebih lanjut mengenai anomali pada parameter c bernilai besar yang bertanda negatif dengan hasil rapat probabilitas yang memiliki dua buah puncak.

Selain itu, penelitian masih memiliki batasan yaitu hanya dilakukan pada partikel yang berada dalam keadaan *ground state*. Perlu adanya keberlanjutan penelitian untuk keadaan tereksitasi ataupun campuran guna menghasilkan pemodelan yang lebih baik. Model yang lebih baik harapannya dapat menjelaskan ketidaksesuaian di daerah ekor dari rapat probabilitas yang dihasilkan dari model *ground state*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahn, K., Choi, M. Y., Dai, B., Sohn, S., dan Yang, B. 2017. Modeling Stock Return Distributions With A Quantum Harmonic Oscillator. *A Letters Journal Exploring the Fronties or Physics* .Vol. 120, No. 3, Hal. 101-108.
- Aprioniyadi, Mohammad., Palupin Dwi Satya., dan Rochid, Muhammad Farchani. 2017. Model Kuantum Dinamika Harga Saham Dalam Wakilan Integral (Sudi Kasus Pada Saham PT. Astra Agro Lestari, Tbk.). *Journal Physics Communication*.Vol. 1, No. 1.
- Ataullah, A., dan Tippett, M. 2007. Equity prices as a simple harmonic oscillator with noise. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, No.2.Hal. 557–564.
- Baaquie, B. 2004. *Quantum Finance Path Integrals and Hamiltonians for Options and Interest Rates*. Cambridge University Press. New York.
- Binney, James dan David Skinner. 2008. *The Physics of Quantum Mechanics*. Cappella Archive. California.
- Darmadji. 2006. *Pasar Modal di Indonesia (Pendekatan Tanya Jawab) Edisi 2*. Salemba. Jakarta.
- Feynman, R.P. 2011. *Quantum Mechanics an Path Integral*. McGraw-Hill Book Company. California. New York.
- Gao, T., dan Chen, Y. 2017. A quantum anharmonic oscillator model for the stock market. *Physica A:Statistical Mechanics and its Applications*, Hal. 468-307.
- Griffiths, David J. 2003. *Introductions to Quantum Mechanics*. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River. New Jersey.

- Hajar, M.H.I. dan Kadarina, T.M.. 2019. Pengenalan Bahasa Pemrograman Python Menggunakan Aplikasi Games Untuk Siswa/I Di Wilayah Kembangan Utara. *Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta. Jurnal Abdi Masyarakat (JAM)*. Vol. 5 No. 1.
- Hamzah, A. 2006. Analisis Kinerja Saham Perbankan Sebelum & Sesudah Reverse Stock Split di PT Bursa Efek Jakarta. *Jurnal Manajemen & Bisnis Sriwijaya*. Vol. 4.
- Hartono, Jogianto. 2016. *Teori Portofolio dan Analisa Investasi Edisi 10*. BPFE. Yogyakarta.
- Imam, N. 2008. *Kiat-kiat membiakkan uang di masa sulit*. Elex Media Komputindo. Jakarta.
- Jafarpour, M., & Afshar, D. 2002. Calculation of energy eigenvalues for the quantum anharmonic oscillator with a polynomial potential. *Journal of Physics A: Mathematical and Genera*. Vol.35 No.1 Hal:87-94.
- Kalb, Irve. 2018. *Learn to Program With Python 3 A Step By Step Guide to Programming Second Edition*. Apress Media LLC. Mountain View California, USA.
- Koetin, E.A. 2002. *Analisis Pasar Modal*. Pustaka Sinar Harapan. Jakarta.
- Krugman, P., Wells, R., dan Graddy, K. 2011. *Essentials of Economics*. Wort Publisher. New York.
- Marsiglio, F. 2009. The harmonic oscillator in quantum mechanics: A third way. *American Journal of Physic*. Vol. 77, No. 3, Hal. 253–258.
- Meng, X., Zhang, J. W., Xu, J., dan Guo, H. 2015. Quantum spatial-periodic harmonic model for daily price-limited stock markets. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, Vol. 438, No. 1, Hal:154–160.
- Milliken, Connor P. 2020. *Python Projects for Beginners A Ten-Week Bootcamp Approach to Python Programming*. Apress Media LLC. NH, USA.

- Nurhayati, Immas. 2016. Pengaruh Earning Per Share Terhadap Harga Saham Studi Kasus Pada PT Charoen Pokphan Indonesia. *Jurnal Ilmiah Inovator*. Vol. 1, No. 1, Hal:1-8.
- Purnomo, R., dan Hariani, I. 2010. *Buku Pintar Hukum Bisnis Pasar Modal*. Transmedia Pustaka. Jakarta.
- Reif, F., 2009. *Foundamentals of Statistical and Thermal Physics*. Waveland Press. Long Grove, Illinois.
- Resmiyanto, Rachmad. 2014. *Nalar Fisika di Pasar Saham : Pengantar Ekonofisika*. GRE Publishing. Yogyakarta.
- Romadani, A., dan Rosyid, M. F. 2022. Proses difusi relativistik melalui persamaan langevin dan fokker-planck. *Jurnal Teknosains*. Vol. 11, No. 2, Hal:101-111.
- Rosyid, MF. 2006. *Mekanika Kuantum: Model Matematis Gejala Alam Mikroskopis, Tinjauan Terrelativitas*. Jurusan Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Sakura, J. 2004. *Modern Quantum Mechanics*. Addison Wesley Publishing company. Los Angeles.
- Sawidji, Widiatmojo. 2012. *Cara Sehat Investasi di Pasar Modal*. PT.Alex Media Komputindo. Jakarta.
- Schaden, M. 2002. Quantum Finance. *Physica A:Statistical Mechanics and its Applications*. Vol. 316, No. 1, Hal.511-538.
- Setiawan,A., Kristen,U., dan Wacana,S. 2016. *Pengantar teori probabilitas*. Universitas Satya Wacana. Salatiga.
- Sholihah, F. M., S, S., dan Variani, V. I. 2016. Analisis Energi Osilator Harmonik Menggunakan Metode Path Integral Hypergeometry dan Operator. *Indonesian Journal of Applied Physics*. Vol. 2, No. 2, Hal.7-14.
- Siregar, Rustam E. 2018. *Fisika Kuantum*. Departemant Fisika Universitas Padjajaran. Unpad Press. Bandung

Stanley, E. 2006. Economic Fluctuations and Statistical Physics: The Puzzle of Large Fluctuations. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. Vol. 44, Hal.329-337.

Tambunan, Andy Porman. 2008. *Menilai harga wajar saham (stock valuation)*. PT.Alex media komputindo. Jakarta.

Zettili, N. 2001. *Quantum mechanics, concepts and application*. John Wiley & Sons. INC, New York.

Zhang, C Huang L. 2010. A Quantum Model For The Stock Market. *Physica A*. Vol. 389, No. 41, Hal:769-781.