

# Implementasi Model Sumur Potensial Kuantum dalam Prediksi Kenaikan Harga Saham di Indonesia

Emir Syahreza Fadhilla<sup>a)</sup>, Ervin Naufal Arrasyid<sup>b)</sup>, Mohammad Aliffian Rizki<sup>c)</sup>

<sup>a)</sup> emirsyahreza@students.itb.ac.id

<sup>b)</sup> naufalervin@gmail.com

<sup>c)</sup> aliffianricky@students.itb.ac.id

## Abstrak

*Sifat acak pergerakan harga saham dapat dimaknai bahwa terdapat variabel-variabel yang sulit diamati secara holistik atau dapat dianggap tidak diketahui (hidden) sehingga model kuantum merupakan kandidat yang baik dalam memodelkan pergerakan harga saham (Quantum Finance). Pada makalah ini digunakan model sumur potensial tak berhingga dengan dasar sumur tidak datar dengan profil yang bergantung pada volume untuk tiap-tiap harga saham pada periode tertentu. dilakukan juga analogi observable-observable dalam mekanika kuantum menjadi observable yang sesuai dengan pasar saham seperti harga saham sebagai posisi partikel, dst. Digunakan pula konsep temperatur pasar sebagai parameter volatilitas pasar. Dari model tersebut, didapatkan rapat probabilitas dalam ruang harga saham menggunakan metoda finite difference, sehingga dapat diprediksi harga saham paling mungkin untuk periode selanjutnya. Dilakukan trial and error dalam penskalaan parameter pasar saham menjadi observabel kuantum sehingga ditemukan bahwa harga saham harus dinyatakan dalam rupiah tetapi volume untuk profil potensial dalam sumur harus dinyatakan dalam triliun rupiah. Dengan menggunakan hasil tersebut, didapat prediksi apakah harga saham harian akan naik atau turun, dengan akurasi yang cukup baik sehingga kami simpulkan bahwa metode ini dapat diandalkan, walaupun masih perlu dilakukan pengujian lebih lanjut.*

*Kata-kata kunci: Harga Saham, Prediksi, Sumur Potensial, Quantum Finance*

## PENDAHULUAN

Saham adalah surat berharga yang menyatakan kepemilikan suatu perusahaan. Saham dapat diperjualbelikan di pasar saham atau bursa efek dengan harga yang mengikuti hukum ekonomi. Harga saham adalah salah satu fenomena yang paling sering diamati oleh manusia meskipun harga saham tidak dapat diprediksi secara akurat karena sifatnya yang stokastik atau *randomly determined* [1]. Maksud dari kata *randomly determined* adalah gerak dari harga saham tidak dapat diprediksi karena bersifat rambang. Namun, karena gerak harga saham hanya dapat naik, turun, atau konstan, maka kita dapat membangun suatu model yang memprediksi arah pergerakan harga saham dengan menggunakan informasi yang kita miliki di masa lalu yaitu perubahan harga saham dan volume penjualan dari harga saham[1].

Selama ini perubahan harga saham diprediksi oleh banyak sekali orang dengan menggunakan berbagai *tools* matematika seperti simulasi monte carlo, statistika atau *tools* lain

seperti *Ito calculus* atau *stochastic calculus*. Selain model yang murni matematika, pergerakan harga saham dapat diprediksi dengan memanfaatkan matematika yang dikembangkan untuk menjelaskan fenomena di alam dengan karakteristik yang mirip dengan harga saham<sup>[1]</sup>. Salah satu fenomena tersebut adalah *Brownian Motion* atau *Wiener Process*. Fenomena ini adalah fenomena gerakan rambang dari partikel di dalam suatu sistem akibat tumbukan partikel tersebut dengan partikel lainnya di dalam sistem yang sama. Partikel dapat bergerak karena partikel memiliki energi termal. Energi termal di dalam suatu sistem dimanifestasikan sebagai gerak partikel. Partikel di dalam suatu sistem pasti memiliki energi termal dan energi partikel di dalam sistem tersebut berbeda-beda mengikuti fungsi distribusi dari sistem tersebut. Selama ini, *Brownian motion* dan fisika statistik telah banyak diaplikasikan ke dalam analisis gerakan harga saham karena kedua fenomena bersifat stokastik[2].

Di samping *Brownian motion*, fenomena fisika lainnya yang dapat digunakan dalam membangun analisis harga saham adalah model partikel di dalam sumur potensial energi yang mana keadannya dapat dijelaskan dengan persamaan Schrodinger [2]. Gerak suatu partikel di dalam mekanika kuantum dipengaruhi oleh variabel yang tidak dapat diamati oleh observer atau dapat disebut sebagai “*hidden variables*”. Sama seperti harga saham yang pergerakannya dipengaruhi banyak variabel seperti kondisi politik, ekonomi, dan sosial yang tidak dapat diamati secara holistik untuk memprediksi harga saham, maka kondisi tadi dapat disebut sebagai *hidden variable* dari observable yang akan kita ukur yaitu harga saham [2]. Karena nilai harga saham dan posisi partikel yang ada di dalam potensial satu dimensi bersifat probabilistik maka harga saham sesungguhnya dapat dimodelkan dengan menggunakan fenomena partikel yang ada di dalam sumur potensial tak hingga satu dimensi. Kedua hal di atas menjadi contoh bahwa fenomena fisika dapat berguna bagi fenomena di luar fisika seperti harga saham. Jembatan keduanya adalah matematika[2]

### MODEL SUMUR POTENSIAL KUANTUM DAN TEMPERATUR PASAR

Model kuantum, dalam hal memprediksi sistem yang bersifat probabilistik, dapat menjelaskan hasil prediksi saham yang tidak sesuai oleh model-model konvensional akibat pengabaian parameter-parameter *hidden* dalam model tersebut. Sehingga, penggunaan model kuantum dapat dijadikan suatu terobosan baru untuk mendapatkan prediksi yang lebih baik dibanding metode-metode yang telah diterapkan sebelumnya. Sebenarnya, model kuantum untuk prediksi harga saham merupakan suatu hal yang baru dan sehingga masih perlu dikembangkan. Beberapa permasalahan yang ditemui oleh model ini adalah dalam menetapkan bentuk hamiltonian pada persamaan Schrodinger. Beberapa bentuk potensial yaitu sumur potensial tak berhingga sederhana dan potensial harmonik sederhana telah diuji dan memberikan beberapa hasil penting [1][2], salah satunya adalah volume perdagangan dapat dianalogikan sebagai energi karena memiliki sifat-sifat yang bersesuaian. Pada tulisan ini, digunakan model sumur potensial tak berhingga dengan perturbasi pada potensial yang ditentukan lebarnya dari nilai maksimum dan nilai minimum harga saham serta volume perdagangan saham untuk suatu periode tertentu[5].

#### Model Sumur Potensial Kuantum

Persamaan Schroedinger bebas waktu secara umum berbentuk (dinyatakan dalam *natural unit*)[4]:

$$H\psi = \frac{p^2}{2m}\psi + V(x)\psi. (1)$$

Dengan solusi umum  $\psi$  berbentuk [4]:

$$\psi(x) = \sum_n c_n \phi_n(x). \quad (2)$$

Untuk kasus harga saham,  $x$  merupakan harga saham,  $m$  adalah volume perdagangan saham rata-rata dalam satu periode, dan momentum  $P$  adalah volume rata-rata saham dikalikan dengan *rate of return* yang merupakan turunan dari perubahan harga terhadap waktu.

Persamaan Schrodinger umum di atas, dapat diubah menjadi persamaan eigenstate energi berbentuk[4]:

$$E_n \phi_n(x) = \left[ -\frac{1}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V(x) \right] \phi_n(x). \quad (3)$$

Untuk menemukan solusi untuk fungsi gelombang  $\phi_n(x)$  maka kita harus menyelesaikan terlebih dahulu persamaan diferensial orde dua dengan metode numerik. Sehingga untuk mendapatkan  $\phi_n(x)$  persamaan di atas dapat diubah ke dalam bentuk beda hingga dengan substitusi berikut:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \phi_n(x) \cong \frac{\phi_n(x + \Delta x) - 2\phi_n(x) + \phi_n(x - \Delta x)}{\Delta x^2}. \quad (4)$$

Dalam bentuk diskritisasi persamaan energi eigenstate dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$2m\Delta x^2 E_n \phi_n^k = -\phi_n^{k+1} + (2 + 2m\Delta x^2 V^k) \phi_n^k - \phi_n^{k-1} \quad (5)$$

dengan  $k$  adalah indeks vektor  $\phi_n$ .

Persamaan di atas dapat dinyatakan dalam bentuk matriks (setelah dilengkapi syarat batas  $\phi_n^0 = \phi_n^N = 0$  dengan  $N =$  jumlah node diantara batas + 1) sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} u_1 & -1 & \dots & 0 \\ -1 & \dots & 0 & \dots \\ \dots & 0 & \dots & -1 \\ 0 & \dots & -1 & u_{N-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_n^1 \\ \vdots \\ \phi_n^{N-1} \end{bmatrix} = 2m\Delta x^2 E_n \begin{bmatrix} \phi_n^1 \\ \vdots \\ \phi_n^{N-1} \end{bmatrix} \quad (6)$$

dengan  $u_k = (2 + 2m\Delta x^2 V^k)$ . Tampak bahwa persamaan tersebut merupakan persamaan nilai eigen sehingga dapat langsung dicari solusinya.  $\phi_n$  adalah vektor eigen dari matriks tridiagonal dan  $E_n = \frac{\lambda_n}{2m\Delta x^2}$  dengan  $\lambda_n$  adalah nilai eigen ke  $n$  dari matriks tridiagonal.

Jika solusi untuk  $\phi_n(x)$  telah didapatkan, maka dapat dicari rapat probabilitas dari keadaan murni yang berbentuk [4]:

$$\rho_n(x) = |\phi_n(x)|^2. \quad (7)$$

Untuk menemukan rapat probabilitas total, dapat digunakan prinsip statistik ensemble sehingga rapat probabilitas total dapat dihitung melalui [5]:

$$\rho(x) = \frac{1}{Z} \sum_n e^{-\frac{E_n}{kT}} \rho_n(x) = \frac{1}{Z} \sum_n e^{-\frac{E_n}{kT}} |\phi_n(x)|^2. \quad (8)$$

dengan  $k$  adalah konstanta Boltzmann,  $T$  adalah temperatur pasar, dan  $Z$  adalah fungsi partisi yang didefinisikan sebagai<sup>[5]</sup>:

$$Z = \sum_n e^{-\frac{E_n}{kT}}. \quad (9)$$

Secara teoritik semua eigenstate dapat berkontribusi pada rapat probabilitas sehingga penjumlahan diatas menjadi penjumlahan sebanyak tak- hingga buah suku. Tetapi secara empirik dapat diamati bahwa keadaan kuantum pada pasar saham hanya dua yaitu keadaan dengan volatilitas tinggi sebagai keadaan eksitasi pertama dan volatilitas rendah sebagai keadaan dasar. Oleh karena itu, hanya perlu digunakan  $\phi_1(x)$  dan  $\phi_2(x)$  dalam penghitungan rapat probabilitas[5]. Pada penelitian ini akan diasumsikan bahwa seluruh keadaan

berkontribusi sehingga dapat dibuktikan validitas dari sifat pasar yang telah disebutkan sebelumnya

### Temperatur Pasar

Temperatur pasar menyatakan seberapa cepat perubahan harga yang terjadi. Temperatur pasar dirumuskan sebagai [3][5]:

$$T = \frac{\langle mr^2 \rangle}{k}. (10)$$

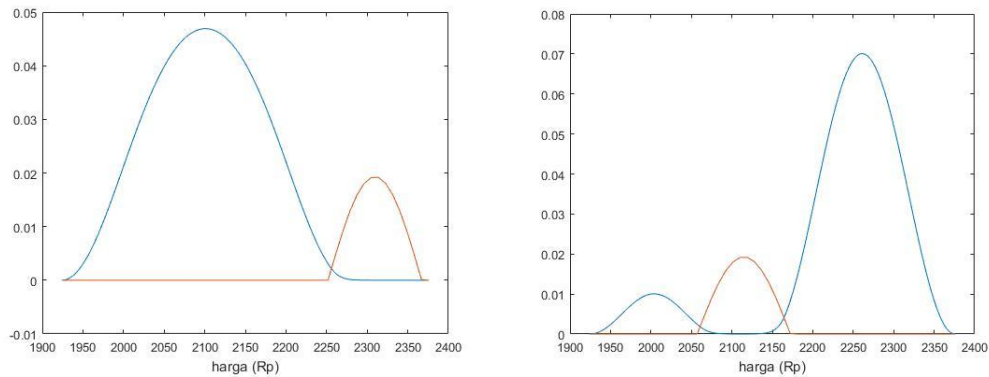
- T : Temperatur pasar
- m : Volume dagang
- r : *Rates of return*
- k : Konstanta Boltzmann

Tampak bahwa temperatur yang sebanding dengan *Rates of return* kuadrat maka semakin besar temperatur pasar, semakin cepat pula terjadinya fluktuasi harga di pasar saham. Hal ini secara tidak langsung dapat dihubungkan dengan volatilitas pasar yaitu, semakin tinggi temperatur suatu pasar, maka akan semakin tinggi pula resikonya (karena volatil). Untuk pembahasan tentang berapa nilai temperatur pasar dapat dinyatakan volatil atau tidak volatil, tidak tercakup dalam makalah ini.

### Bentuk Sumur Potensial

Pertama-tama yang harus dilakukan adalah menentukan periode waktu yang ingin ditinjau. Pada kasus ditentukan periode waktunya adalah satu hari dengan pengambilan data untuk lima hari. Kemudian diambil data saham untuk tiap hari. Dari data tersebut akan didapat fluktuasi maksimum dalam prosentase. Kemudian, diamati nilai *closing* setiap hari harga saham selama 30 hari sebelum pekan yang akan kami tinjau. Untuk tiap pekan, kami menentukan nilai fluktuasi maksimum hingga minggu yang kami tinjau. Fluktuasi maksimum ini lah yang akan membantu menentukan harga untuk dinding sumur potensial (batas sumur potensial) karena diasumsikan bahwa harga tidak akan berada diluar rentang tersebut. Caranya adalah dengan menambahkan nilai fluktuasi maksimum pada nilai maksimum harga saham pada hari tersebut dan mengurangi nilai minimum harga saham di hari yang sama dengan nilai fluktuasi maksimum. Prinsip ini dianggap memiliki *confidence level* sebesar 95% kecuali jika terjadi adanya inovasi atau *crash* pada pasar secara tiba-tiba [5]. Harga penutupan pada hari sebelumnya menjadi titik tengah diantara dinding-dinding potensial.

Dalam menentukan bentuk dasar sumur, digunakan data yang diperoleh pada website [finance.yahoo.com](http://finance.yahoo.com). Digunakan data harga saham PT Wika, Tbk. dari tanggal 27 Maret hingga 2 April 2018. Pada tiap hari, kami mengambil harga penutupan saham tiap 15 menit selama waktu perdagangan yaitu dari jam 08.30-16.00 WIB. bentuk potensial pada dasar sumur dapat dianggap memiliki bentuk yang sama dengan grafik volume perdagangan saham terhadap harga saham. Fungsi potensial dapat berubah bergantung waktu, namun kita dapat menganggap itu konstan selama periode yang diinginkan. Berikut adalah contoh hasil rapat probabilitas untuk suatu bentuk beberapa bentuk potensial tertentu (yang didapat dari data volume perdagangan).



Gambar 1. Contoh hasil komputasi untuk rapat probabilitas (kurva biru) untuk dua bentuk potensial yang berbeda (kurva merah)

## LANGKAH-LANGKAH MENGGUNAKAN MODEL SUMUR POTENSIAL KUANTUM UNTUK PREDIKSI KENAIKAN HARGA SAHAM

Untuk menentukan rapat probabilitas dari harga saham, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut

### Menentukan bentuk sumur potensial dari data harga dan volume perdagangan saham

Pertama-tama, ditentukan periode waktu di mana perhitungan rapat probabilitas akan dilakukan. Selain itu pada tahap awal ini kami mengambil data harga saham dan volume perdagangan saham untuk tiap hari selama sepekan dengan data berupa harga saham tiap 15 menit. Volume perdagangan juga didapatkan dengan mengalikan jumlah transaksi saham dengan harga saham. Dinding sumur adalah potensial tak hingga, di mana ‘partikel’ tidak dapat menembus dinding tersebut ke luar. Asumsi ini berdasarkan dari fakta bahwa *market cap* tidak dapat melebihi nilai tukar maksimum yang bergantung pada periode waktu[5].

Dilakukan dengan cara menentukan volume saham terhadap harga untuk suatu periode tertentu. Panjang periode yang dipilih akan ditentukan kemudian dengan mempelajari data yang dimiliki. Sebagaimana disebutkan di atas batas sumur potensial tak hingga ditentukan dengan menentukan nilai fluktuasi maksimum. Kemudian nilai batas sumur potensial adalah selisih nilai harga minimum dengan nilai fluktuasi untuk batas kiri dan penjumlahan nilai maksimum dengan nilai fluktuasi untuk batas kanan sumur potensial.

### Menyelesaikan persamaan Schrödinger

Persamaan Schrodinger diselesaikan dengan metode numerik beda hingga sesuai dengan rumusan yang telah dijelaskan pada bagian teori dasar. Dari metode beda hingga tersebut akan didapat energi eigen dan fungsi eigen yang akan digunakan untuk menentukan rapat probabilitas keadaan murni dan fungsi partisi.

### Menghitung distribusi probabilitas harga.

Elemen *density matrix* akan dihitung dengan melihat spektrum yang dihasilkan dari solusi persamaan Schrodinger dan analisis terhadap “energi” pasar saham. Tujuan akhir dari langkah ini adalah menentukan harga rata-rata menggunakan rapat probabilitas yang telah didapat pada

langkah sebelumnya, sehingga dapat diprediksi apakah akan terjadi penurunan harga atau kenaikan harga pada periode selanjutnya.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

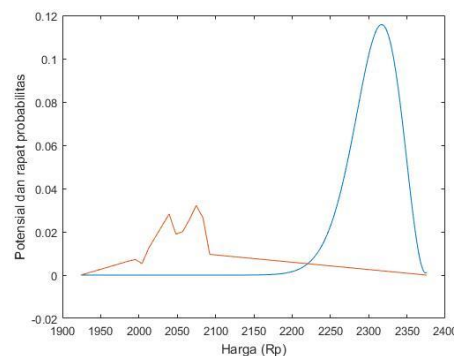
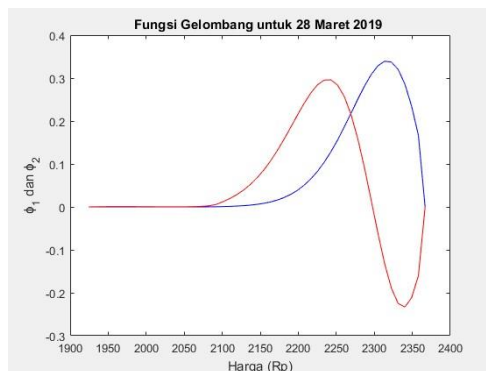
Data yang kami dapatkan adalah harga saham selama lima hari dari saham PT. Wijaya Karya. Data yang kami dapatkan adalah harga saham per 15 menit serta volume perdagangan saham setiap lima belas menit selama lima hari perdagangan. Kemudian untuk setiap harga saham yang sama maka volume perdagangan dijumlahkan sehingga hanya ada satu data volume perdagangan untuk setiap harga saham dan volume perdagangan terkait. Kemudian, kami kalikan volume perdagangan dengan harga saham sehingga terdapat dua buah data setiap hari yaitu harga saham serta volume perdagangan terkait selama lima hari. Salah satu contoh data yang kami dapatkan adalah sebagai berikut yaitu data volume perdagangan terhadap harga pada tanggal 28 Maret 2018 (data untuk hari lain tidak ditampilkan untuk mempersingkat pemaparan):

Tabel 1. nilai harga perdagangan dan volume perdagangan tanggal 28 Maret 2019

Harga (Rp)	Nilai Perdagangan (Juta Rp)
1995	7353.57
2000	1684
2010	10825.86
2040	28600.8
2050	16834.6
2060	21362.2
2080	35963.2
2090	9655.8

Dari data di atas kami plot data harga saham terhadap volume perdagangan serta kami lakukan interpolasi linear untuk mendapatkan bentuk potensial.

Setelah kami dapatkan bentuk potensial untuk lima hari yang akan kami tinjau, ditentukan bentuk fungsi gelombang menggunakan persamaan 4 hingga 6 kami dapatkan bentuk fungsi gelombang untuk tiap hari, sebagai contoh adalah pada Gambar 2 sebagai berikut (warna biru adalah keadaan dasar dan warna merah adalah keadaan eksitasi pertama):



Gambar 2. (sebelah kiri) Dua Fungsi gelombang keadaan energi rendah, hasil komputasi untuk data tanggal 28 Maret 2019.

Gambar 3. (sebelah kanan) bentuk dari rapat probabilitas (kurva biru) untuk bentuk potensial (kurva merah) dari data tanggal 28 Maret 2019.

Dengan fungsi gelombang yang didapatkan, rapat probabilitas total akan ditentukan menggunakan persamaan 7 hingga 10 dengan bantuan matlab. Kami dapatkan rapat probabilitas, sebagai contoh adalah rapat probabilitas untuk data tanggal 28 Maret 2019 yang akan digunakan untuk melakukan prediksi harga tanggal 29 Maret 2019 pada Gambar 3.

Pada awalnya ketika ditentukan bentuk dan nilai potensial di tiap titik harga, kami mendapatkan nilai orde dari energi dan potensial yang tidak sesuai, energi memiliki orde  $10^{-7}$  dan potensial memiliki orde  $10^4$ . Itu terjadi karena perbedaan *scaling* pada volume perdagangan. Tetapi kemudian volume perdagangan di-*rescale* sehingga dinyatakan dalam satuan  $10^{12}$  atau dalam orde triliun rupiah. Hal ini sesuai dengan fakta bahwa harga yang digunakan pada saham PT. Wijaya Karya diberikan dalam ribu rupiah. *Scaling* tersebut membuat nilai-nilai energi dan massa yang didapat menjadi masuk akal sehingga pemodelan dapat dilakukan. Perlu diketahui bahwa *scaling* tersebut tidak berlaku umum untuk sembarang kasus. Setiap pasar dapat memerlukan *scaling* yang berbeda sebagai contoh adalah, pada pasar saham Spanyol walaupun harga dinyatakan dalam Euro, tetapi volume perdagangan harus dinyatakan dalam ratus juta Euro. Kami menemukan bahwa *Scaling* dalam triliun Rupiah tersebut adalah yang paling cocok untuk kasus yang kami kaji. Perlu diketahui pula bahwa *scaling* juga bergantung pada unit yang digunakan dalam persamaan Schroedinger. Penulis menyarankan bahwa unit yang paling mudah digunakan pada metode ini adalah *natural unit*.

Tabel 2. Tabel perbandingan prediksi dan nilai harga saham asli

tanggal	prediksi		referensi		galat prediksi harga (%)
	Harga (Rp)	Naik/Turun	Harga (Rp)	Naik/Turun	
hh-bb-tttt					
28-03-19	2193	Naik	2110	Naik	3.933649
29-03-19	2306	Naik	2170	Naik	6.267281
01-04-19	2297	Naik	2190	Naik	4.885845
02-04-19	2190	Tetap	2180	Turun	0.458716
03-04-19	2066	Turun	2180	Tetap	5.229358

Selain itu ditemukan bahwa bentuk potensial tanggal 27, 28, dan 29 memiliki bentuk yang serupa namun tak sama yaitu potensial dengan bentuk seperti distribusi Gaussian. Namun bentuk potensial tanggal 1 dan 2 berbeda dibandingkan potensial pada 3 hari sebelumnya. Selain bentuk fungsi gelombang pada tanggal 27, 28, dan 29 berbeda dengan bentuk fungsi



gelombang pada tanggal 1 dan tanggal 2. Lebih lanjut, bentuk rapat probabilitas pada tanggal 27, 28, dan 29 berbeda dengan rapat probabilitas pada tanggal 1 dan tanggal 2. Di tiga hari pertama, bentuk rapat probabilitas naik dengan tren puncak berada di bagian kanan sumur. Artinya di ketiga hari ini, dapat diprediksi akan terjadi kenaikan harga. Pada data tanggal 1, kami menemukan bahwa puncak rapat probabilitas berada di tengah sumur, sedangkan untuk data tanggal 2 berada di bagian kiri dari sumur potensial. Lalu, di tanggal 1, rapat probabilitas lebih melebar dibandingkan tiga hari pertama. Secara kasar hal ini berimplikasi bahwa pada kedua hari terakhir, harga saham lebih sulit diprediksi dibandingkan tiga hari pertama. Kemudian, bila merujuk kepada nilai sebenarnya dari harga saham, pada tiga hari pertama, tren harga saham cenderung naik sedangkan pada kedua hari terakhir harga saham cenderung stagnan atau bahkan turun. Perbedaan antara kedua periode waktu ini dapat diakibatkan karena tiga hari pertama yang ditinjau dan dua hari berikutnya berada pada pekan yang berbeda dan berada pada bulan yang berbeda.

Harga saham sangat bergantung pada volume perdagangan dan volume perdagangan sangat bergantung dengan demand yang ada. Keputusan investor/pembeli saham untuk membeli saham sangat dipengaruhi oleh waktu. Perbedaan pekan dan perbedaan bulan dapat memengaruhi *behavior* harga saham karena investor mengambil keputusan untuk melakukan pembelian setelah melakukan *review* perdagangan saham pada pekan sebelumnya dan bulan sebelumnya. Oleh karena itu perbedaan yang tampak pada kedua periode perdagangan di atas dapat diakibatkan akibat perbedaan pekan dan perbedaan bulan perdagangan dengan variabel-variabel yang sulit untuk dianalisis. Namun, karena bulan april adalah bulan pemilu dan awal dari kuartal kedua serta bulan maret adalah bulan akhir dari kuartal pertama, maka secara ekonomi pasti terdapat pertimbangan baru untuk melakukan investasi.

Hal lain yang dapat kami analisis adalah akurasi dari harga yang diprediksi dari model ini. tampak bahwa setiap terjadi kenaikan dapat diprediksi dengan tepat tetapi belum kami temukan kecocokan ketika harga saham menurun. Galat yang didapatkan apabila harga hasil prediksi dibandingkan dengan harga asli sebenarnya tidak terlalu besar, tetapi diperlukan pengembangan lebih lanjut agar galat tersebut semakin kecil karena dalam pasar saham, perubahan yang kecil dan tren dari perubahan harga (sekecil apapun) sangat berpengaruh pada keputusan pembeli. Dapat diamati bahwa galat terkecil ada pada prediksi untuk tanggal 2 April 2019. Hal ini terjadi, diduga karena pada tanggal 1 April volume dagang sangat tersebar di seluruh harga saham yang ditinjau dan keadaan pasar saat itu berada dalam dominan keadaan dasar, sehingga pasar sangat tidak volatil. Hal ini bersesuaian dengan fakta bahwa pasar yang volatil akan semakin susah untuk diprediksi (resiko besar) yang diamati untuk hari selain tanggal 2 April (dengan data tanggal 1 April) galat dari prediksi bernilai lebih besar karena pasar lebih volatil pada tanggal-tanggal tersebut. Pemilihan periode yang tepat dan modifikasi pada penghitungan fluktuasi harga untuk menentukan posisi harga dinding sumur potensial dapat dilakukan untuk meningkatkan akurasi prediksi harga menggunakan metode kuantum ini.

Untuk seluruh data yang kami miliki, hanya tampak dua fungsi gelombang yang berkontribusi pada rapat probabilitas, yaitu keadaan dasar dan keadaan eksitasi pertama. Bahkan, jarang kami temui fungsi gelombang keadaan tereksitasi yang tampak cukup jelas pada rapat probabilitas. Kami menduga bahwa fungsi gelombang keadaan eksitasi yang



merepresentasikan keadaan dengan volatilitas tinggi baru akan tampak ketika terjadi hal-hal luar biasa, seperti *market crash*.

### KESIMPULAN

Dari seluruh perhitungan didapatkan bahwa harga saham PT. Wijaya Karya (WIKAJK) hampir selalu mengalami kenaikan pada data dalam rentang waktu yang ditinjau yaitu 27 maret 2019 sampai 1 april 2019. Beberapa galat yang signifikan dalam pasar saham diamati pada tanggal-tanggal dimana perubahan harga terjadi cukup cepat, atau pasar dapat dianggap cukup volatil. Walaupun demikian metode sumur potensial kuantum ini cukup dapat diandalkan dalam prediksi harga saham dengan galat yang ditemukan dari beberapa set data yang kami miliki, seluruhnya kurang dari 7%.

Penelitian selanjutnya akan difokuskan pada bagaimana cara meningkatkan akurasi tetapi mengurangi beban komputasi yang akan dilakukan sehingga secara umum akan berfokus pada optimasi penggunaan prediksi menggunakan model kuantum untuk pasar saham.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan syukur kepada Tuhan yang Maha Esa atas selesainya penulisan makalah ini. Selain itu penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Fisika Lanjut tempat kami mengonsultasikan penelitian ini kepada asisten dan juga kepada dosen pengampu mata kuliah (Program Studi Fisika Institut Teknologi Bandung) Eksperimen Fisika II serta Koordinator Asisten Praktikum Eksperimen Fisika II yang telah memberikan komentar dan saran kepada kami, juga kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini.

### REFERENSI

1. Chao Zhang, Lu Huang, *A Quantum Model For the Stock Market*, Physica A 389, 2010
2. Xiangyi Meng, Jian-Wei Zhang, Jingjing Xu, Hong Guo, *Quantum Spatial-Periodic Harmonic Model for Daily Price-Limited Stock Markets*, Physica A 538, 2015
3. J. L. Subias, *Negative kelvin temperatures in stock markets*, e-print arXiv:q-fin.ST/1206.1272 (2013)
4. Shankar, R. *Principles of Quantum Mechanics 2<sup>nd</sup> Ed.*, Springer, 2014
5. J. L. Subias, *Quantum Model For Price Forecasting in Financial Markets*, e-print [arXiv:1902.10502v1](https://arxiv.org/abs/1902.10502v1) (2018)