

Prediksi Indeks Harga Saham Menggunakan Model Dinamik Hukum Pendingin Newton

Siti Masriyah, Hariyanto, dan Nuri Wahyuningsih
Departemen Matematika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: hariyanto@matematika.its.ac.id

Abstrak—Investasi merupakan upaya penanaman modal untuk mendapatkan *return* yang sebesar-besarnya di masa depan. Investasi saham merupakan salah satu bentuk investasi yang dapat memberikan *return* yang tinggi. Namun, semakin tinggi *return* yang didapatkan maka, semakin besar pula kemungkinan risiko yang dihadapi. Salah satu cara untuk meminimalisir kerugian dalam investasi saham adalah dengan memprediksi indeks harga saham dengan menganalisis data indeks harga saham sebelumnya. Fenomena pengembalian rata-rata (*mean reversion*) yang terjadi pada indeks harga saham menyerupai perpindahan panas yang dicirikan pada hukum pendingin Newton. Pada tugas akhir ini dibahas mengenai prediksi Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) dengan menggunakan model dinamis yang didapat dari modifikasi hukum pendingin Newton. Terdapat tiga model dinamis hasil modifikasi hukum pendingin Newton yang akan digunakan untuk memprediksi indeks harga saham, yaitu *Price Reversion Model*, *Price Reversion-Quasi Logistic Model* dan *Velocity Reversion Model*. Ketiga model tersebut diterapkan pada Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) untuk melihat kemampuan prediksi dari masing-masing model. Berdasarkan hasil validasi model didapatkan model terbaik untuk memprediksi IHSG adalah *Price Reversion Model* dengan MAPE sebesar 8.4159%. Kemudian, *Price Reversion Model* digunakan untuk memprediksi IHSG untuk bulan April 2021 sampai Juli 2021, didapat bahwa IHSG akan mengalami tren turun dalam selang waktu tersebut.

Kata Kunci—Prediksi, IHSG, Hukum Pendingin Newton, Model Dinamis, MAPE.

I. PENDAHULUAN

INVESTASI merupakan upaya penanaman modal untuk mendapatkan *return* yang sebesar-besarnya di masa depan. Salah satu instrumen investasi yang memiliki tingkat *return* yang besar adalah investasi saham. Namun, fakta empiris menunjukkan bahwa *return* yang besar cenderung diikuti dengan tingkat risiko yang besar pula (*high return high risk, low return low risk*). Oleh karena itu, keberhasilan investasi sangat ditentukan oleh keahlian investor dalam mengelola informasi di pasar modal [1]. Terdapat dua jenis analisis yang dapat dilakukan investor sebelum berinvestasi di saham, yaitu analisis fundamental dan analisis teknikal. Pada analisis fundamental, investor melihat nilai intrinsik saham, kinerja industri dan ekonomi, iklim politik, dan lain-lain. Sedangkan, pada analisis teknikal, investor mempelajari statistik yang dihasilkan oleh aktivitas pasar, seperti harga dan volume masa lalu [2].

Analisis teknikal dimulai dengan cara memperhatikan perubahan saham itu sendiri dari waktu ke waktu. Analisis teknikal pada dasarnya merupakan upaya pencarian pola perulangan yang dapat diprediksi dalam harga saham. Analisis teknikal dilakukan dengan menggunakan grafik saham untuk mengidentifikasi pola dan tren untuk melihat perilaku saham di masa depan.

Dalam investasi saham terdapat istilah yang disebut dengan indeks saham. Indeks saham adalah ukuran statistik yang mencerminkan keseluruhan pergerakan harga atas sekumpulan saham yang dipilih berdasarkan kriteria dan metodologi tertentu serta dievaluasi secara berkala. Salah satu tujuan/manfaat dari indeks saham sendiri adalah sebagai proksi dalam mengukur dan membuat model pengembalian investasi (*return*), risiko sistematis, dan kinerja yang disesuaikan dengan risiko [3]. Indeks harga saham berfungsi sebagai indikator tren pasar yang menggambarkan kondisi pasar pada saat tertentu, apakah pasar sedang aktif atau lesu. Dengan melihat indeks harga saham, seorang investor dapat mengetahui *trend* pergerakan harga saham pada waktu tertentu, apakah sedang naik, stabil atau turun. Oleh karena itu, indeks harga saham dapat dijadikan sebagai landasan analisis atas kondisi pasar terakhir. Pergerakan indeks menjadi indikator penting bagi investor untuk memutuskan apakah akan membeli, menahan atau menjual sahamnya [4].

Pasar saham merupakan sebuah sistem dinamis nonlinear yang kompleks. Harga pasar saham naik dan turun secara acak karena berbagai faktor internal dan eksternal yang mempengaruhi harga pasar saham. Beberapa faktor ketidakpastian yang dapat mempengaruhi harga pasar saham, antara lain faktor ekonomi, sosial dan politik nasional maupun internasional. Hal ini menyebabkan prediksi mengenai pergerakan indeks harga saham sulit untuk diprediksi. Sehingga, muncul berbagai model untuk memprediksi pergerakan harga saham. Terdapat analogi antara suhu dengan indeks harga saham. Mereka memperkenalkan model dari hukum pendingin Newton untuk mendeskripsikan tren naik dan turun suatu indeks saham. Selain itu, Chen, dkk menyatakan bahwa pergerakan harga saham seperti proses perpindahan panas yang dicirikan dalam hukum pendingin Newton [5].

Pada penelitiannya, mereka menganggap saham atau indeks saham sebagai objek yang diletakkan di lingkungan. Objek tersebut membawa energi yang diubah oleh ekspektasi dan spekulasi investor sehingga harga berfluktuasi pada kondisi ekonomi yang dianggap konstan (tidak ada perdagangan internasional, kebijakan internasional, tingkat upah, dan sebagainya) pada waktu yang singkat. Sehingga, harga saham berbalik ke nilai ekuilibrium jika nilai pasar terlalu tinggi atau terlalu rendah. Melalui penelitiannya, terbentuk tiga model yang merupakan hasil dari modifikasi hukum pendingin Newton untuk memprediksi nilai masa depan dari indeks saham.

Indeks harga saham gabungan (IHSG) merupakan salah satu indeks pasar saham yang digunakan oleh Bursa Efek Indonesia sebagai indikator pergerakan harga saham di BEI. Indeks harga saham gabungan mencakup pergerakan seluruh saham yang tercatat di BEI [4]. Pergerakan IHSG dapat menjadi indikator bagi para investor yang ingin

menginvestasikan uangnya pada perusahaan yang tercatat di BEI. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai prediksi pergerakan indeks harga saham gabungan dengan menggunakan model dinamis yang dibentuk oleh N-P. Chen, M-R. Li, Chiang-Lin, Y-S. Lee dan W. Miao [5].

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pasar Modal

Pasar modal merupakan kegiatan yang berhubungan dengan penawaran umum dan perdagangan efek, perusahaan publik yang berkaitan dengan efek yang diterbitkannya, serta lembaga dan profesi yang berkaitan dengan efek. Menurut Keputusan Menteri Keuangan No. 697/KMK.041/1985 yang dimaksud dengan efek adalah setiap saham, obligasi atau bukti sementara dari surat tersebut, bukti keuntungan dan surat-surat jaminan, opsi atau hak-hak lainnya untuk memesan atau membeli saham, obligasi atau bukti penyertaan dalam modal atau penjamin lainnya. Pasar modal bertindak sebagai penghubung antara para investor dengan perusahaan maupun institusi pemerintah melalui perdagangan instrument keuangan jangka panjang seperti saham dan obligasi [6].

B. Indeks Harga Saham

Saham adalah sertifikat yang menunjukkan bukti kepemilikan suatu perusahaan, dan pemegang saham memiliki hak klaim atas penghasilan dan aktiva perusahaan. Harga sebuah saham sangat dipengaruhi oleh hukum permintaan dan penawaran, harga suatu saham akan cenderung naik bila suatu saham mengalami kelebihan permintaan dan cenderung turun jika terjadi kelebihan penawaran. Perubahan harga saham setiap harinya akan membentuk nilai indeks harga saham. Indeks harga saham dinyatakan dalam angka indeks yang dibuat sedemikian rupa hingga dapat digunakan untuk mengukur kinerja saham yang dicatat di Bursa Efek. Jadi, indeks harga saham adalah suatu indikator yang menunjukkan pergerakan harga saham. Indeks harga saham berfungsi sebagai indikator tren pasar, artinya pergerakan indeks menggambarkan kondisi pasar pada suatu saat, apakah sedang aktif atau lesu [6].

C. Hukum Pendingin Newton

Model termodinamika adalah model yang menggambarkan tentang perubahan energi akibat adanya aliran panas dan kerja yang dilakukan. Energi panas dalam termodinamika dipengaruhi oleh dua variabel, yaitu suhu (T) dan entropi (S). Sedangkan energi dalam bentuk kerja dipengaruhi oleh dua variabel, yaitu tekanan (P) dan volume (V). Hukum pendingin Newton merupakan salah satu cabang dari ilmu termodinamika yang hanya memperhatikan pengaruh suhu (T). Hukum pendingin Newton menyatakan bahwa laju pendinginan atau pemanasan dari suatu objek sebanding dengan selisih suhu objek dan suhu lingkungan sekitarnya. Artinya, suhu benda akan menyatu dengan suhu lingkungan kesetimbangan. Hukum dapat dituliskan sebagai persamaan diferensial linier:

$$\frac{dT(t)}{dt} = -\lambda(T(t) - T_a), \text{ untuk } \lambda > 0$$

atau

$$\frac{dT(t)}{dt} = \lambda(T(t) - T_a), \text{ untuk } \lambda < 0$$

dimana

T : suhu objek

T_a : suhu lingkungan

λ : koefisien positif perpindahan panas

t : waktu

Persamaan differensial linier mendeskripsikan bagaimana sebuah objek mengalami pendinginan karena objek kehilangan kalor ke lingkungan sekitar yang memiliki kapasitas panas tak terbatas dari waktu ke waktu, sehingga laju perubahan suhu bernilai negatif dan nilai konstanta λ harus bernilai positif. Selanjutnya, pada persamaan panas mengalir dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu yang lebih rendah, maka laju perubahan suhu bernilai positif, sehingga nilai konstanta λ harus bernilai positif.

Dengan memperhatikan suhu awal dari objek sebagai $T(0) = T_0$, maka solusi dari persamaan diferensial adalah sebagai berikut:

$$T(t) = T_a + (T_0 - T_a)e^{-\lambda t}$$

dimana $e^{-\lambda t}$ merupakan fungsi eksponensial. Artinya hukum pendingin Newton menyebutkan bahwa terdapat hubungan eksponensial antara suhu objek dan waktu pendinginan (Gambar 1).

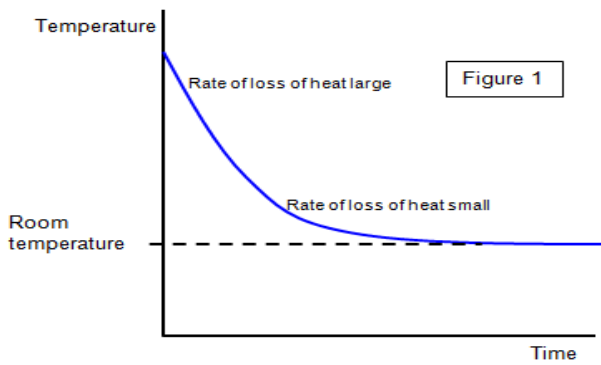
D. Hubungan Hukum Pendingin Newton dengan Indeks Harga Saham

Hukum pendingin Newton merupakan salah satu cabang dari ilmu termodinamika yang hanya memperhatikan pengaruh suhu (T). Hukum pendingin Newton menyatakan bahwa jika suatu objek dengan suhu tertentu diletakkan pada suatu lingkungan yang bersuhu konstan karena memiliki kapasitas panas tinggi, maka suhu dari objek tersebut akan kehilangan/menerima kalor sehingga suhu objek akan sama dengan suhu lingkungan dalam selang waktu tertentu. Perubahan suhu ini terjadi akibat adanya interaksi antara partikel-partikel objek dengan lingkungan.

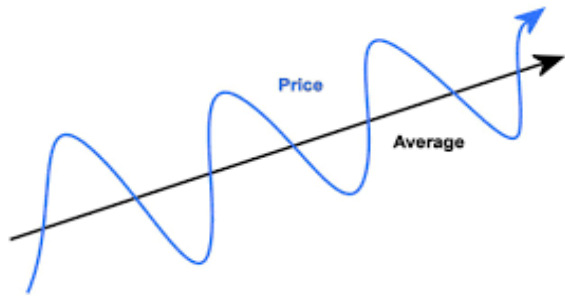
Pergerakan indeks harga saham mirip dengan proses perpindahan panas yang dikarakterisasikan oleh hukum pendingin Newton [5]. Indeks harga saham berbalik menuju nilai kesetimbangan jika nilai pasar terlalu tinggi atau terlalu rendah. Fenomena kembalinya nilai indeks harga saham ke nilai rata-rata seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 dikenal dengan istilah mean reversion. Pada hukum pendingin Newton, indeks harga saham dianggap sebagai objek dan pasar saham sebagai suatu lingkungan yang suhu konstan. Transaksi jual-beli saham dalam pasar saham dianggap sebagai partikel-partikel yang saling berinteraksi, sehingga menyebabkan nilai indeks harga saham berubah. Nilai pasar saham didefinisikan sebagai rata-rata nilai indeks harga saham dalam selang waktu tertentu.

E. Modifikasi Hukum Pendingin Newton untuk Saham

N-P. Chen, M-R. Li, Chiang-Lin, Y-S. Lee dan W. Miao telah membuat model berdasarkan konsep hukum pendingin Newton untuk mendeskripsikan fenomena mean reversion [5]. Ketika harga saham lebih tinggi dari rata-rata, terdapat kelebihan pasokan di pasar (terjadi tekanan jual) dan harga saham akan turun hingga rata-rata. Sebaliknya, ketika harga



Gambar 1. Grafik proses pendinginan objek.



Gambar 2. Grafik mean reversion pada indeks harga saham.

saham lebih rendah dari rata-rata, terdapat kelebihan permintaan di pasar (tekanan beli) dan harga saham akan naik ke mean. Sehingga, berdasarkan konsep tersebut, diperoleh tiga model yang menggambarkan fenomena pengembalian rata-rata harga saham. Ketiga model tersebut adalah Price Reversion Model (PRM), Price Reversion-Quasi Logistic Model (PRQLM), dan Velocity Reversion Model (VRM).

1) Price Reversion Model (PRM)

Price Reversion Model (PRM) merupakan model yang menggambarkan hubungan antara kecepatan indeks harga saham dan selisih antara indeks harga saham dengan rata-rata indeks harga saham. Model tersebut dituliskan sebagai persamaan diferensial berikut:

$$\frac{dS(t)}{dt} = \alpha_1 \cdot [S(t) - A]$$

dimana

- $S(t)$: indeks harga saham pada waktu t
- α_1 : koefisien perubahan indeks harga saham
- A : rata-rata indeks harga saham pada n hari sebelum waktu t .

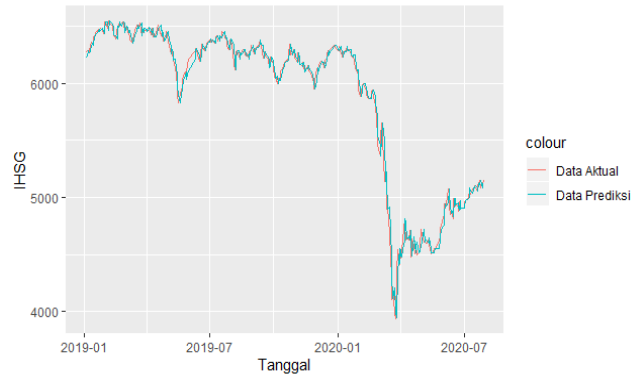
Rata-rata indeks harga saham pada n hari sebelum waktu t dapat dituliskan sebagai persamaan berikut ini:

$$A = \frac{\sum_{i=0}^n S(i)}{n}$$

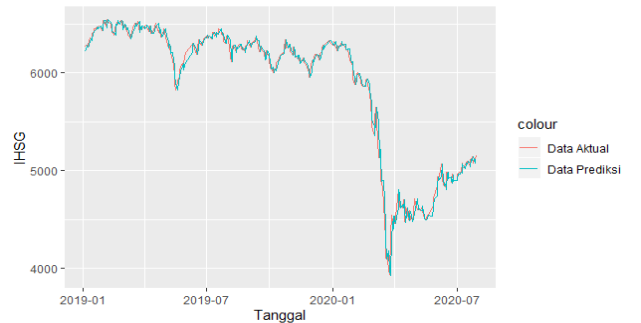
2) Price Reversion Quasi Logistic Model (PRQLM)

Price Reversion-Quasi Logistic Model (PRQLM) menggambarkan hubungan antara tingkat pertumbuhan indeks harga saham dan selisih antara indeks harga saham dengan rata-rata indeks harga saham. Model PRQLM dapat dituliskan dalam bentuk persamaan diferensial berikut:

$$\frac{dS(t)/dt}{S(t)} = \alpha_2 \cdot [S(t) - A]$$



Gambar 3. Plot hasil fitting model PRM untuk n=480.



Gambar 4. Plot hasil fitting model PRQLM untuk n=480.

dimana

- $S(t)$: indeks harga saham pada waktu t
- α_2 : koefisien perubahan indeks harga saham
- A : rata-rata indeks harga saham pada n hari sebelum waktu t .

3) Velocity Reversion Model (VRM)

Velocity Reversion Model (VRM) merupakan model yang menjelaskan bagaimana percepatan indeks harga saham berhubungan dengan selisih antara perubahan indeks harga saham dan rata-rata n -hari-nya. Velocity Reversion Model (VRM) dapat dituliskan dalam bentuk persamaan diferensial berikut:

$$\frac{d^2S(t)}{dt^2} = \alpha_3 \cdot [v(t) - B]$$

dimana

- $v(t)$: kecepatan pergerakan indeks saham
- $S(t)$: indeks harga saham pada waktu t
- α_3 : koefisien perubahan indeks harga saham
- B : rata-rata perubahan indeks harga saham $[0, t - 1]$

Kecepatan pergerakan indeks harga saham dinyatakan sebagai

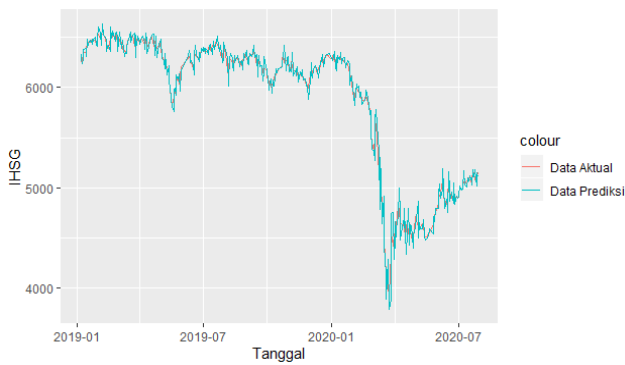
$$v(t) = \frac{dS(t)}{dt}$$

Perubahan indeks harga saham rata-rata dari n hari sebelum waktu t dapat dituliskan sebagai persamaan berikut ini:

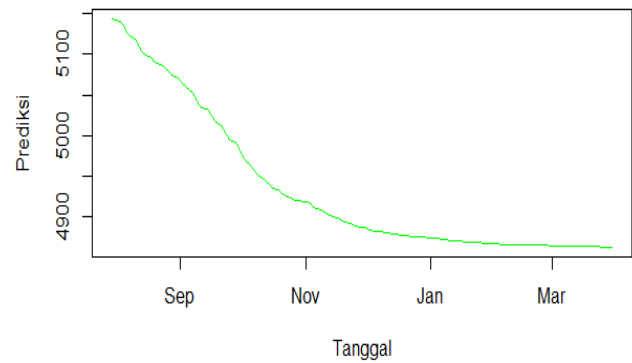
$$B = \frac{\sum_{i=0}^n S(i) - S(i - 1)}{n}$$

F. Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

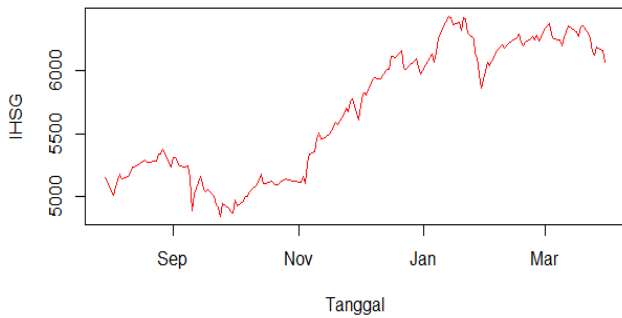
Mean Absolute Percentage Error (MAPE) merupakan suatu ukuran ketepatan yang dapat digunakan untuk mengetahui ketepatan peramalan dari suatu model. MAPE



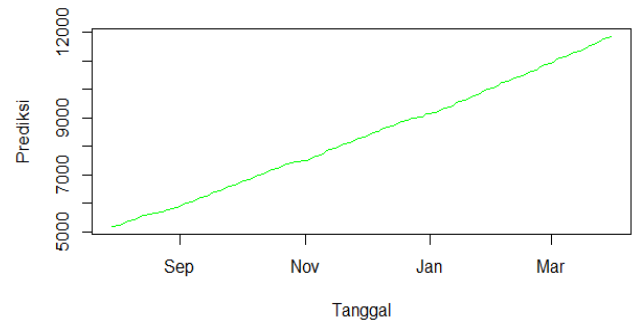
Gambar 5. Plot hasil fitting model VRM untuk n=480.



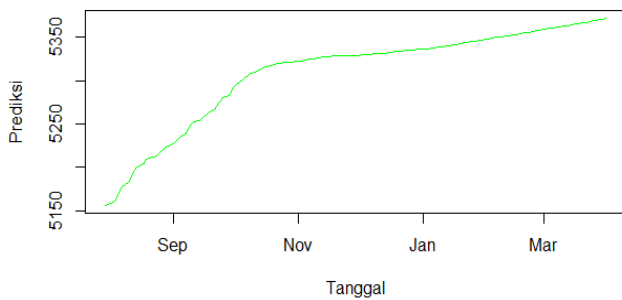
Gambar 8. Plot hasil prediksi dengan model PRQLM.



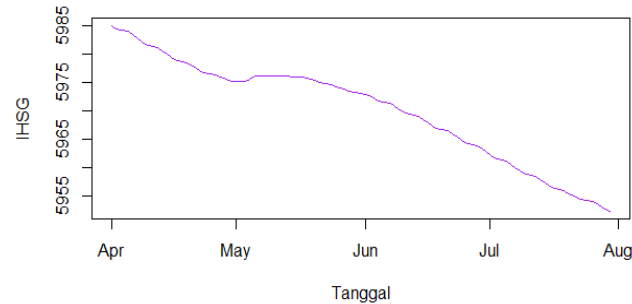
Gambar 6. Plot data testing.



Gambar 9. Plot hasil prediksi dengan model VRM.



Gambar 7. Plot hasil prediksi dengan model PRM.



Gambar 10. Plot hasil prediksi IHSG Bulan April-Juli 2021.

untuk model hukum pendingin Newton pada saham didefinisikan sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{\hat{S}(i) - S(i)}{S(i)} \right| \times 100\% \quad (2.8)$$

dimana,

$\hat{S}(i)$: nilai teoritis dari model pada waktu i ,

$S(i)$: nilai pasar pada saat i , dan

N : panjang data

Semakin kecil nilai MAPE maka semakin baik kemampuan peramalan dari suatu model. Lewis (1982) telah membuat klasifikasi kemampuan peramalan pada Tabel 1.

III. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah data sekunder yang didapat dari laman <http://www.finance.yahoo.com/>. Data tersebut merupakan data time series harian harga penutupan Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) dari tanggal 3 Januari 2017 sampai 31 Maret 2021. Kemudian, data tersebut akan dibagi menjadi data training dan data testing. Setelah data terkumpul, langkah selanjutnya adalah mendapatkan persamaan parameter untuk masing-masing model. Persamaan

parameter ini didapat dari solusi masing-masing model yang telah diberi syarat kondisi tertentu.

Setelah nilai parameter didapatkan, langkah selanjutnya adalah melakukan diskritisasi pada model. Pendiskritan model dilakukan dengan menggunakan beda hingga maju. Bentuk diskrit dari model ini akan diterapkan pada data dan digunakan pada tahap fitting model, validasi model dan peramalan.

Berdasarkan model hukum pendingin Newton, diperlukan nilai rata-rata indeks harga saham n hari sebelum hari ke- t . Oleh karena itu, pada tahap ini akan ditentukan bilangan asli n yang menyatakan banyaknya hari sebelum waktu t diterapkan pada model dan dilihat kecocokannya dengan data. Data yang digunakan pada langkah ini adalah data training. Bilangan n yang menghasilkan nilai error terkecil digunakan untuk melakukan validasi model.

Setelah didapatkan bilangan n terbaik untuk masing-masing model, maka langkah selanjutnya adalah melakukan validasi model. Tahap ini dilakukan untuk membandingkan kemampuan peramalan dari ketiga model. Model yang memiliki nilai MAPE terkecil dan hasil prediksinya dapat menggambarkan tren pergerakan Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) dengan baik merupakan model terbaik.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data

Dilakukan pengumpulan 1047 data harga penutupan harian Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) dari tanggal 3 Januari 2017 sampai 30 Maret 2021 melalui laman <http://www.finance.yahoo.com/>. Kemudian data tersebut dikelompokkan menjadi data training dan data testing. Sedangkan, data pada tanggal 30 Juli 2020 sampai 30 Maret 2021 digunakan sebagai data testing yang ditunjukkan pada

Tabel 1.

Klasifikasi Kemampuan Peramalan Model Berdasarkan MAPE

MAPE	Tingkat Keakuratan
$MAPE \leq 10\%$	Tinggi
$10\% < MAPE \leq 20\%$	Baik
$20\% < MAPE \leq 50\%$	Layak
$MAPE > 50\%$	Tidak Akurat

Tabel 2.

MAPE Hasil Fitting Model

n	MAPE		
	PRM	PRQLM	VRM
5	0.8513%	0.8908%	1.2225%
20	0.8195%	0.8231%	1.1420%
40	0.8548%	0.8262%	1.1446%
60	0.8247%	0.8200%	1.1393%
120	0.8335%	0.8231%	1.1395%
240	0.8252%	0.8269%	1.1424%
480	0.8100%	0.8122%	1.1263%

Tabel 3.

MAPE Hasil Validasi Model

MAPE		
PRM	PRQLM	VRM
8.4159%	12.5666%	45.7563%

Lampiran 2.

B. Mendapatkan Parameter Model

Parameter masing-masing model didapat dari solusi model yang telah diberi syarat kondisi tertentu pada [5].

1) Parameter Model PRM

Empat solusi dengan syarat kondisi tertentu dari model PRM. Keempat solusi tersebut digunakan untuk mendapatkan parameter α_1 [5].

- a. Jika diketahui $S(t) > S(t_0)$ dan $(S(t) - A)(S(t_0) - A) > 0$

$$S(t) = A + (S(t_0) - A)e^{\alpha_1(t-t_0)}$$

$$\alpha_1 = \frac{\ln \left| \frac{S(t) - A}{S(t_0) - A} \right|}{t - t_0}$$

- b. Jika diketahui $S(t) > S(t_0)$, $(S(t) - A) > 0$ dan $(S(t_0) - A) < 0$

$$S(t) = A - (S(t_0) - A)e^{\alpha_1(t-t_0)}$$

$$\alpha_1 = \frac{\ln \left| \frac{S(t) - A}{-(S(t_0) - A)} \right|}{t - t_0}$$

- c. Jika diketahui $S(t) < S(t_0)$, $(S(t) - A)(S(t_0) - A) > 0$

$$S(t) = A + (S(t_0) - A)e^{-|\alpha_1|(t-t_0)}$$

$$\alpha_1 = - \frac{\ln \left| \frac{S(t) - A}{S(t_0) - A} \right|}{t - t_0}$$

- d. Jika diketahui $S(t) < S$, $(S(t) - A) < 0$ dan $(S(t_0) - A) > 0$

$$S(t) = A - (S(t_0) - A)e^{-|\alpha_1|(t-t_0)}$$

$$\alpha_1 = - \frac{\ln \left| \frac{S(t) - A}{-(S(t_0) - A)} \right|}{t - t_0}$$

2) Parameter Model PRQLM

Empat solusi dengan syarat kondisi tertentu dari model PRQLM. Keempat solusi tersebut digunakan untuk mendapatkan parameter α_2 [5].

- a. Jika diketahui $S(t) > S(t_0)$ dan $S(t) \cdot (S(t) - A) > 0$

$$S(t) = \frac{-\frac{A}{|K|}e^{-A\alpha_2(t-t_0)}}{\left(1 - \frac{1}{|K|}e^{-A\alpha_2(t-t_0)}\right)}$$

$$\alpha_2 = - \frac{\ln \left| \frac{S(t)|K|}{S(t) - A} \right|}{A(t - t_0)}$$

- b. Jika diketahui $S(t) > S(t_0)$ dan $S(t) \cdot (S(t) - A) < 0$

$$S(t) = \frac{\frac{A}{|K|}e^{-A\alpha_2(t-t_0)}}{\left(1 + \frac{1}{|K|}e^{-A\alpha_2(t-t_0)}\right)}$$

$$\alpha_2 = - \frac{\ln \left| \frac{S(t)|K|}{(A - S(t))} \right|}{A(t - t_0)}$$

- c. Jika diketahui $S(t) > S(t_0)$ dan $S(t) \cdot (S(t) - A) > 0$

$$S(t) = \frac{-\frac{A}{|K|}e^{A|\alpha_2|(t-t_0)}}{\left(1 - \frac{1}{|K|}e^{A|\alpha_2|(t-t_0)}\right)}$$

$$\alpha_2 = \frac{\ln \left| \frac{S(t)|K|}{S(t) - A} \right|}{A(t - t_0)}$$

- d. Jika diketahui $S(t) < S(t_0)$ dan $S(t) \cdot (S(t) - A) < 0$

$$S(t) = \frac{\frac{A}{|K|}e^{A|\alpha_2|(t-t_0)}}{\left(1 + \frac{1}{|K|}e^{A|\alpha_2|(t-t_0)}\right)}$$

$$\alpha_2 = \frac{\ln \left| \frac{S(t)|K|}{(A - S(t))} \right|}{A(t - t_0)}$$

3) Parameter Model VRM

Empat solusi dengan syarat kondisi tertentu dari model PRM. Keempat solusi tersebut digunakan untuk mendapatkan parameter α_3 [5].

- a. Jika diketahui $v(t) > v(t_0), S(t) > S(t_0)$ dan $(v(t) - B(t)) \cdot (v(t_0) - B(t)) > 0$

$$S(t) = S(t_0) + B(t - t_0) + \frac{v(t_0) - B}{\alpha_3} (e^{\alpha_3(t-t_0)} - 1)$$

$$\alpha_3 = \frac{\ln \left(\frac{S(t) - S(t_0) - B(t - t_0)}{(v(t_0) - B)} \right)}{(t - t_0)}$$

- b. Jika diketahui $v(t) < v(t_0), S(t) > S(t_0)$ dan $(v(t) - B(t)) \cdot (v(t_0) - B(t)) > 0$

$$S(t) = S(t_0) + B(t - t_0) - \frac{v(t_0) - B}{|\alpha_3|} (e^{-|\alpha_3|(t-t_0)} - 1)$$

$$\alpha_3 = - \left| \frac{\ln \left| \frac{S(t) - S(t_0) - B(t - t_0)}{(v(t_0) - B)} \right|}{(t - t_0)} \right|$$

- c. Jika diketahui $v(t) > v(t_0), S(t) < S(t_0)$ dan $(v(t) - B(t)) \cdot (v(t_0) - B(t)) > 0$

$$S(t) = S(t_0) - |B|(t - t_0) - \left| \frac{v(t_0) - B}{\alpha_3} \right| (e^{\alpha_3(t-t_0)} - 1)$$

$$\alpha_3 = \frac{\ln \left| \frac{S(t) - S(t_0) + |B|(t - t_0)}{-|v(t_0) - B|} \right|}{(t - t_0)}$$

- d. Jika diketahui $v(t) < v(t_0), S(t) < S(t_0)$ dan $(v(t) - B(t)) \cdot (v(t_0) - B(t)) > 0$

$$S(t) = S(t_0) - |B|(t - t_0) - \left| \frac{v(t_0) - B}{-\alpha_3} \right| (e^{-|\alpha_3|(t-t_0)} - 1)$$

$$\alpha_3 = - \left| \frac{\ln \left| \frac{S(t) - S(t_0) + |B|(t - t_0)}{-|v(t_0) - B|} \right|}{(t - t_0)} \right|$$

- e. Jika diketahui $v(t) > v(t_0), S(t) > S(t_0)$ dan $(v(t) - B(t)) \cdot (v(t_0) - B(t)) < 0$

$$S(t) = S(t_0) + B(t - t_0) - \frac{v(t_0) - B}{\alpha_3} (e^{\alpha_3(t-t_0)} - 1)$$

$$\alpha_3 = \frac{\ln \left| \frac{S(t) - S(t_0) - B(t - t_0)}{-(v(t_0) - B)} \right|}{(t - t_0)}$$

- f. Jika diketahui $v(t) < v(t_0), S(t) > S(t_0)$ dan $(v(t) - B(t)) \cdot (v(t_0) - B(t)) < 0$

$$S(t) = S(t_0) + B(t - t_0) + \frac{v(t_0) - B}{|\alpha_3|} (e^{-|\alpha_3|(t-t_0)} - 1)$$

$$\alpha_3 = \left| \frac{\ln \left| \frac{S(t) - S(t_0) - B(t - t_0)}{v(t_0) - B} \right|}{(t - t_0)} \right|$$

- g. Jika diketahui $v(t) > v(t_0), S(t) < S(t_0)$ dan $(v(t) - B(t)) \cdot (v(t_0) - B(t)) < 0$

$$S(t) = S(t_0) - |B|(t - t_0) + \left| \frac{v(t_0) - B}{\alpha_3} \right| (e^{\alpha_3(t-t_0)} - 1)$$

$$\alpha_3 = \frac{\ln \left| \frac{S(t) - S(t_0) + |B|(t - t_0)}{|v(t_0) - B|} \right|}{(t - t_0)}$$

- h. Jika diketahui $v(t) < v(t_0), S(t) < S(t_0)$ dan $(v(t) - B(t)) \cdot (v(t_0) - B(t)) < 0$

$$S(t) = S(t_0) - |B|(t - t_0) + \left| \frac{v(t_0) - B}{-\alpha_3} \right| (e^{-|\alpha_3|(t-t_0)} - 1)$$

$$\alpha_3 = - \left| \frac{\ln \left| \frac{S(t) - S(t_0) + |B|(t - t_0)}{|v(t_0) - B|} \right|}{(t - t_0)} \right|$$

Parameter α_1, α_2 dan α_3 yang telah didapatkan kemudian digunakan untuk memprediksi indeks harga saham pada waktu $t + 1$.

C. Diskritisasi Model

Setelah diperoleh persamaan parameter dari masing-masing model, maka langkah selanjutnya adalah melakukan diskritisasi pada model. Bentuk diskrit dari model ini digunakan untuk menerapkan model pada data. Diskritisasi model dilakukan dengan menggunakan beda hingga maju.

1) Diskritisasi Model PRM

Model PRM diubah dalam bentuk diskrit dengan menggunakan metode beda hingga maju.

$$\frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t} = \alpha_1 \cdot [S_t - A]$$

$$S_{t+1} - S_t = \Delta t \cdot \alpha_1 \cdot [S_t - A]$$

$$S_{t+1} = S_t + \Delta t \cdot \alpha_1 \cdot [S_t - A]$$

untuk $\Delta t = 1$, maka

$$S_{t+1} = S_t + \alpha_1 \cdot [S_t - A]$$

2) Diskritisasi Model PRQLM

Model PRQLM diubah dalam bentuk diskrit dengan menggunakan metode beda hingga maju.

$$\frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t} = -A\alpha_2 \cdot \left[S(t) - \frac{S^2(t)}{A} \right]$$

$$S_{t+1} - S_t = -A(t)\alpha_2(t) \cdot \Delta t \cdot \left[S(t) - \frac{S^2(t)}{A} \right]$$

$$S_{t+1} = S_t - A\alpha_2 \cdot \Delta t \cdot \left[S(t) - \frac{S^2(t)}{A} \right]$$

untuk $\Delta t = 1$, maka

$$S_{t+1} = S_t - A\alpha_2 \cdot \left[S(t) - \frac{S^2(t)}{A} \right]$$

3) Diskritisasi Model VRM

Model VRM diubah dalam bentuk diskrit dengan menggunakan metode beda hingga maju.

$$\frac{S_{t+2} - 2S_{t+1} + S_t}{\Delta t^2} = \alpha_3 \cdot \left[\frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t} - B \right]$$

$$S_{t+2} - 2S_{t+1} + S_t = \alpha_3 \cdot \Delta t^2 \cdot \left[\frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t} - B \right]$$

untuk $\Delta t = 1$, maka

$$S_{t+2} - 2S_{t+1} + S_t = \alpha_3 \cdot [S_{t+1} - S_t - B]$$

$$S_{t+2} = \alpha_3 \cdot [S_{t+1} - S_t - B] + 2S_{t+1} - S_t$$

D. Fitting Model

Hukum pendingin Newton menyatakan kecepatan perubahan indeks harga saham sebanding dengan selisih antara indeks harga saham pada waktu t dan rata-rata indeks harga saham n -hari sebelum waktu t . Pada tahap ini, dilakukan penerapan model pada data training dan menguji beberapa bilangan n yang menyatakan banyaknya hari sebelum waktu t . Hal ini bertujuan untuk melihat berapa banyak data yang dibutuhkan untuk dapat memprediksi nilai indeks harga saham dengan baik. Pertama dicari nilai rata-rata indeks harga saham (A) untuk tiap waktu t . Beberapa bilangan n diterapkan untuk mendapatkan nilai A . Setelah didapatkan nilai A untuk masing-masing bilangan n pada tiap waktu t , kemudian dicari nilai parameter α_1 dan α_2 untuk tiap waktu t berdasarkan solusi model PRM dan PRQLM. Kemudian, dihitung nilai $S(t+1)$ dengan menggunakan model yang telah didiskritisasi. Terakhir, besarnya error yang dihasilkan diukur menggunakan MAPE.

Prediksi Indeks Harga Saham Gabungan untuk fitting model ini adalah mulai tanggal 3 Januari 2019 sampai 29 Juli 2020 untuk model PRM dan PRQLM. Sedangkan untuk model VRM, fitting model dilakukan mulai tanggal 4 Januari 2019 sampai 29 Juli 2020 karena model VRM membutuhkan nilai selisih antara indeks harga saham pada waktu t dan indeks harga saham pada waktu $t-1$. Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa model ketiga model memiliki nilai MAPE kurang dari 10% yang berarti bahwa hasil dari fitting model akurat untuk setiap n . MAPE terkecil didapat saat $n=480$. Artinya, ketiga data Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) mengalami pengembalian rata-rata (mean reversion) untuk rata-rata jangka panjang. Ketiga model juga dapat menunjukkan fluktuasi Indeks Harga Saham Gabungan dengan baik seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.

E. Validasi Model

Pada tahap ini dilakukan validasi model dengan membandingkan nilai hasil prediksi dari model dan nilai data aktual pada data testing. Pertama, dicari nilai rata-rata dan parameter model berdasarkan data aktual yang sudah ada. Rata-rata untuk model PRM dan PRQLM adalah rata-rata 480 hari sebelum waktu t . Kemudian, parameter pada waktu t dicari dengan memperhatikan nilai $S(t)$, $S(t_0)$ dan A untuk disesuaikan dengan solusi yang ada. Setelah itu, nilai $S(t+1)$ diprediksi dengan menerapkan persamaan model yang telah didiskritisasi (Gambar 6).

Nilai ramalan dari $S(t+1)$ akan dianggap sebagai data yang telah diketahui, untuk kemudian dipakai memprediksi nilai indeks harga saham gabungan pada $S(t+2)$. Langkah tersebut terus diulangi sampai didapat 160 hari data prediksi. Kemudian, data hasil prediksi dibandingkan dengan data aktual dan error dari masing-masing model diukur menggunakan MAPE. Nilai MAPE dari masing-masing model yang ditunjukkan oleh Tabel 3. Berdasarkan tersebut terlihat bahwa model PRM memiliki nilai MAPE terkecil dibanding ketiga model, yaitu sebesar 8.4159%. Berdasarkan Tabel 1 artinya kemampuan peramalan model PRM memiliki tingkat keakuratan yang tinggi karena nilai MAPE-nya $<10\%$.

Kemudian, data *testing* dan data hasil prediksi Indeks Harga Saham Gabungan dari setiap model diplot untuk

melihat tren atau pergerakan dari Indeks Harga Saham Gabungan. Pada Gambar 7 terlihat bahwa Indeks Harga Saham Gabungan mengalami tren naik dari bulan September 2020 sampai Maret 2021. Berdasarkan Gambar 8 model PRM dapat menunjukkan tren naik dari Indeks Harga Saham Gabungan. Namun, besar perubahan nilai indeks yang terjadi pada data prediksi sangat kecil. Hal ini disebabkan oleh parameter α_1 yang bernilai sangat kecil. Hasil perhitungan parameter α_1 terdapat pada Lampiran. Model VRM juga dapat menunjukkan tren naik seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9. Namun, model VRM memiliki nilai MAPE yang cukup besar, yaitu 45.7563%.

Berdasarkan Tabel 2 prediksi yang dihasilkan masih masuk akal dan dapat diterima. Hal ini dikarenakan tingkat perubahan nilai indeks yang dihasilkan tiap satuan waktu cukup besar, sehingga prediksi yang dihasilkan jauh lebih besar dari data aktualnya. Hal ini terjadi karena prediksi Indeks Harga Saham Gabungan pada waktu $t+1$ dipengaruhi oleh besarnya perubahan antara indeks pada waktu t dan $t-1$ dan percepatan dari Indeks Harga Saham Gabungan pada waktu t .

Hasil prediksi dari model PRQLM memiliki nilai MAPE sebesar 12.5666%, berdasarkan Tabel 1 artinya model PRQLM memiliki kemampuan peramalan yang baik. Namun, pada Gambar 8 terlihat bahwa hasil prediksi dari model PRQLM mengalami tren turun. Hal ini disebabkan oleh parameter α_2 yang terus bernilai positif. Pada tanggal 29 Juli 2020 Indeks Harga Saham Gabungan pada waktu t lebih kecil dari Indeks Harga Saham Gabungan pada waktu t_0 dan Indeks Harga Saham Gabungan pada waktu t lebih kecil dari rata-rata Indeks Harga Saham Gabungan.

Menurut konsep hukum pendingin Newton, Indeks Harga Saham Gabungan akan berbalik ke nilai rata-rata dari indeks saat α_2 bernilai negatif. Karena parameter α_2 yang dihasilkan dari solusi model PRQLM bernilai positif, akibatnya prediksi yang dihasilkan tidak mengalami pengembalian rata-rata (mean reversion) dan bergerak menjauhi nilai rata-rata.

F. Memprediksi Indeks Harga Saham Gabungan

Pada tahap ini dilakukan prediksi harga penutupan harian Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) dari tanggal 1 April 2021 sampai 30 Juli 2021. Prediksi dilakukan dengan menggunakan model PRM karena berdasarkan hasil validasi model, model PRM memiliki nilai MAPE terkecil dan dapat menunjukkan pergerakan Indeks Harga Saham Gabungan dengan baik. Berdasarkan Gambar 10 terlihat hasil prediksi menunjukkan bahwa Indeks Harga Saham Gabungan akan mengalami tren naik dari bulan April 2021 sampai Juli 2021.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan analisis dan pembahasan yang diuraikan pada Bab IV yaitu sebagai berikut: (1) Tiga model hasil modifikasi hukum Newton cooling, yaitu Price Reversion Model, Price Reversion Quasi Logistic Model dan Velocity Reversion Model merepresentasi fenomena pengembalian rata-rata (mean reversion) dari Indeks Harga Saham Gabungan pada $n=480$. (2) Price Reversion Model adalah model terbaik untuk memprediksi Indeks Harga Saham Gabungan karena memiliki nilai MAPE terkecil. Kemampuan peramalan dari

Price Reversion Model memiliki tingkat keakuratan yang tinggi karena nilai MAPE-nya kurang dari 10%, yaitu 8.4159%. (3) Berdasarkan hasil prediksi menggunakan Price Reversion Model (PRM) Indeks Harga Saham Gabungan dari bulan April 2021 sampai Juli 2021 akan mengalami tren turun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T.-J. C. Lin, M.-R. Li, and Y. S. Lee, "Taiex index option model by using nonlinear differential equation," *Math. Comput. Appl.*, vol. 19, no. 1, pp. 78–92, 2014.
- [2] J. Jonnius, "Peramalan indeks harga saham dengan pendekatan exponential smoothing model," *Kutubkhanah*, vol. 19, no. 2, pp. 198–219, 2017.
- [3] V. Zarikas, A. G. Christopoulos, and V. L. Rendoumis, "a thermodynamic description of the time evolution of a stock market index," *Eur. J. Econ. Financ. Adm. Sci.*, vol. 16, pp. 73–83, 2009.
- [4] A. Suarsa, "Perbandingan Analisa Teknikal Metode Simple Moving Average, Weighted Moving Average, dan Exponential Moving Average dalam Memprediksi Harga Saham Lq-45 Sub Sektor Telekomunikasi di Bursa Efek Jakarta," STIE Muhammadiyah Bandung, 2006.
- [5] A. Gkranas, V. L. Rendoumis, and H. M. Polatoglou, "Athens and Lisbon stock markets-A thermodynamic approach," *WSEAS Trans. Bus. Econ.*, vol. 1, no. 1, pp. 95–100, 2004.
- [6] T. S. J. Wijaya and S. Agustin, "Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai IHSG yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia," *J. Ilmu dan Ris. Manaj.*, vol. 4, no. 6, 2015.