

Estimasi Risiko Kredit Obligasi Dengan Suku Bunga Stokastik Berdasarkan Probability Of Default

Odilia Gratiaplena Surma

Program Studi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Udayana
e-mail: odisurma18@gmail.com

Komang Dharmawan

Program Studi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Udayana
e-mail: k.dharmawan@unud.ac.id

Luh Putu Ida Harini

Program Studi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Udayana
e-mail: ballidah@unud.ac.id

Abstract: Bonds as a fairly safe short-term and long-term investment product certainly still have potential investment risks. One of the risks in bond products is credit risk in the form of default, where the issuer fails to pay obligations to investors. The Merton model is one method that can be applied in estimating credit risk on bonds. The interest rate applied in the Merton model is generally a constant interest rate so that in this study the constant interest rate will be replaced by the stochastic interest rate of the Cross Ingersoll Ross (CIR) model. This study aims to calculate the probability of default by applying the CIR model interest rate in the Merton model of BRI bank based on a bond value of 605 billion and a bond contract period of 7 years. The results of the calculation of the CIR model interest rate of 7.28% by substituting it into the Merton model calculation obtained a probability of default value of 0.0% which indicates that there is no risk of default by BRI bank at maturity

Keywords: Credit Risk, Merton Model, Probability Of Default, CIR Rate

Abstrak: Obligasi sebagai produk investasi jangka pendek maupun jangka panjang yang terbilang cukup aman tentunya tetap memiliki potensi risiko investasi. Salah satu risiko pada produk obligasi ialah risiko kredit berupa default, yaitu penerbit gagal membayar kewajiban kepada investor. Model Merton ialah salah satu metode yang dapat diterapkan dalam mengestimasi risiko kredit pada obligasi. Suku bunga yang diterapkan dalam model Merton umumnya suku bunga konstan sehingga pada penelitian ini suku bunga konstan akan diganti dengan suku bunga stokastik model Cross Ingersoll Ross (CIR). Penelitian ini bertujuan untuk menghitung probability of default dengan menerapkan suku bunga model CIR dalam model Merton dari bank BRI berdasarkan nilai obligasi sebesar 605 miliar dan masa kontrak obligasi selama 7 tahun. Hasil perhitungan suku bunga model CIR sebesar 7,28% dengan mensubstitusikannya pada perhitungan model Merton diperoleh nilai probability of default sebesar 0,0% yang

mengindikasikan bahwa tidak adanya risiko gagal bayar oleh bank BRI saat jatuh tempo.

Kata Kunci: Risiko Kredit, Model Merton, Probabilitas Gagal Bayar, Suku Bunga CIR

1. Pendahuluan

Salah satu produk investasi yang diminati investor dan dapat membantu pendanaan kegiatan operasional perusahaan ialah obligasi. Obligasi merupakan surat utang dengan mewajibkan perusahaan selaku penerbit memberikan imbal hasil berupa kupon secara periodik selama masa kontrak obligasi sekaligus membayar pokok utang sebesar nilai nominal yang tercantum dalam surat utang saat jatuh tempo kepada investor (Tandelilin, 2017). Obligasi sebagai produk investasi khususnya obligasi korporasi tentunya memiliki potensi risiko walaupun terbilang cukup aman dan memberikan keuntungan. Berbagai risiko yang perlu diwaspadai oleh investor ketika berinvestasi pada obligasi korporasi, antara lain risiko kredit, risiko likuiditas, risiko suku bunga, dan risiko maturitas. Risiko kredit pada obligasi korporasi terjadi apabila penerbit gagal membayar kewajiban sesuai dengan isi perjanjian dalam surat utang kepada investor. Terkait hal tersebut, Credit Scoring Models, Credit Metrics, metode CreditRisk+, dan model Merton merupakan beberapa metode yang banyak diterapkan dalam penelitian untuk mengukur risiko kredit (Afifah, 2022). Model Merton adalah pendekatan yang digunakan untuk mengestimasi risiko kredit pada obligasi berdasarkan nilai ekuitas dan *probability of default* (PD) (Wirwana, 2018).

Model ini merupakan pengembangan dari Black-Sholes yang dikembangkan oleh Merton pada tahun 1974. Model Merton memiliki beberapa asumsi, seperti risiko kredit terjadi saat jatuh tempo ketika liabilitas perusahaan lebih besar dibandingkan nilai total aset, perusahaan menerapkan sistem zero coupon Bonds, utang perusahaan saat jatuh tempo hanyalah nilai nominal yang tercantum dalam obligasi, dan suku bunga bersifat konstan. Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang menerapkan model Merton dalam mengestimasi risiko kredit pada obligasi, diantaranya penelitian Wirwana (2018) menentukan nilai *probability of default* dengan membandingkan dua perusahaan, yaitu PT AKRA Tbk dan PT PJAA Tbk. Hasil pada penelitian tersebut ialah risiko kredit dari PT PJAA Tbk lebih besar dibandingkan PT AKRA Tbk karena perolehan PD PT AKRA Tbk sebesar 0,000012% sementara PT PJAA Tbk sebesar 0,002037%.

Berikutnya, adapula penelitian terbaru dari Anggoro (2023) yang membandingkan risiko kredit obligasi Bank Mandiri kode BMRI01CCN1 dengan Bank BRI kode BBRI02ECN1. Akan tetapi, hasil penelitian tersebut tidak menunjukkan perbedaan nilai PD yang signifikan antara Bank Mandiri dan Bank BRI. Nilai PD Bank Mandiri diperoleh sebesar 0% sedangkan nilai PD Bank BRI sebesar $1,406668E-113 \% \approx 0\%$.

Hasil yang diperoleh sebenarnya mengindikasikan baik Bank Mandiri maupun Bank BRI tidak memiliki risiko kredit dikarenakan $1,406668E-113 \% \approx 0\%$. Namun, jika mengacu pada hasil perhitungan komputasi dapat dikatakan hasil berarti risiko kredit Bank BRI lebih besar dibandingkan Bank Mandiri. Kedua penelitian terdahulu menggunakan suku bunga konstan yang pada kondisi nyata suku bunga bersifat stokastik.

Tingkat suku bunga stokastik yang dapat digunakan sebagai pengganti suku bunga konstan adalah Suku bunga Model Cox Ingersoll Ross (CIR). Suku bunga CIR pertama kali diperkenalkan pada tahun 1985 yang pergerakan tingkat bunganya cenderung kembali menuju rata-rata dan mampu menjamin tingkat suku bunga bernilai positif (Mariana, 2015). Berdasarkan kondisi tersebut, penulis memfokuskan penelitian ini untuk mengestimasi risiko kredit obligasi korporasi dengan menerapkan suku bunga model CIR dalam model Merton.

2. Metode Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder berupa data obligasi Bank BRI kode BBRI02BCN4 (KSEI, 2022), data keseluruhan aset per kuartal Bank BRI tahun 2014-2022 (BRI, 2022), dan data suku bunga BI tahun 2014-2022 (BPS, 2023). Berikut di paparkan formula-formula dasar yang diterapkan dalam penelitian ini.

2.1 Volatilitas Aset

Volatilitas aset diperoleh dengan menganalisis *history* nilai aset perusahaan. Penentuan nilai volatilitas aset bertujuan memperkirakan tingkat risiko dari suatu aset yang berdampak pada risiko gagal bayar nilai pari obligasi dengan mengukur besarnya fluktuasi nilai total aset (Wirwana, 2018). Dalam menentukan nilai volatilitas tahunan aset diperlukan nilai total aset yang dinyatakan dalam *log-return* dan nilai *log-return mean*. Nilai *log-return* dan nilai *log-return mean* berturut-turut dinotasikan r_t dan \bar{r} . Berikut formula untuk menghitung *log-return* dan *log-return mean*:

$$r_t = \ln \frac{V_t}{V_{t-1}} \quad (1)$$

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^T r_t \quad (2)$$

dengan V_t menyatakan nilai keseluruhan aset per kuartal saat waktu ke- t dan V_{t-1} menyatakan nilai keseluruhan aset per kuartal saat waktu ke- $t - 1$.

Mengacu pada persamaan (1) dan (2), diperoleh formula volatilitas tahunan sebagai berikut :

$$s = \sqrt{4 \times \frac{\sum_{t=1}^n (r_t - \bar{r})^2}{n - 1}} \quad (3)$$

2.2 Suku Bunga Cross Ingersol Ross

Salah satu suku bunga stokastik yang cukup sering diterapkan dalam penelitian adalah suku bunga model CIR. Suku bunga model CIR mampu menjamin tingkat suku bunga bernilai positif serta pergerakan pergerakan tingkat bunganya cenderung kembali menuju rata-rata. Berikut diperlihatkan model suku bunga CIR (Nurani, 2019).

$$dr(t) = K(\theta - r(t)) + \sigma\sqrt{r(t)}dW(t) \quad (4)$$

dengan dengan $r(t)$ menyatakan suku bunga waktu ke- t , K menyatakan kelajuan dari mean reversion, θ menyatakan tingkatan rata-rata suku bunga jangka Panjang, σ menyatakan simpangan baku sesaat dari $r(t)$, dan $W(t)$ menyatakan gerak brown.

2.3 Generalized Method of Moment

Penaksiran parameter suku bunga model CIR menggunakan *generalized method of moment* (GMM) dianggap baik berdasarkan penelitian Nurani (2019). Terdapat beberapa alasan yang menjadikan GMM lebih layak digunakan, yaitu adanya asumsi normalitas sebagai syarat distribusi dari GMM, GMM tetap dapat diaplikasikan jika pada model terdapat bentuk heterokedastisitas dan parameter tetap bisa diestimasi oleh GMM walaupun secara analitis model tidak dapat diselesaikan di turunan pertama. Berikut, formula GMM yang digunakan dalam menentukan parameter suku bunga model CIR:

$$\hat{\beta}_{GMM} = (X'Z\widehat{W}Z'X)^{-1} X'Z\widehat{W}Z'Y. \quad (5)$$

Mengacu pada persamaan (5) berikut tahapan dalam menentukan parameter suku bunga model CIR dengan menerapkan GMM, yaitu (Nurani, 2019) :

1. Persamaan (4) didiskritisasi menggunakan metode Euler, diperoleh :

$$\begin{aligned} \frac{dr(t)}{dt} &= K(\theta - r(t))dt + \sigma\sqrt{r(t)}dW(t) \\ \Leftrightarrow \frac{r(t_{i+1}) - r(t_i)}{\Delta t} &= K(\theta - r(t_i)) + \sigma\sqrt{r(t_i)}dW(t) \\ \Leftrightarrow r(t_{i+1}) - r(t_i) &= K(\theta - r(t_i))\Delta t + \sigma\sqrt{r(t_i)}\sqrt{\Delta t}Z_i \\ \Leftrightarrow \frac{r(t_{i+1}) - r(t_i)}{\Delta t} &= K\theta - Kr(t_i) + \sigma\Delta W_i \end{aligned}$$

$$\Leftrightarrow \frac{r(t_{i+1}) - r(t_i)}{\Delta t} = -Kr(t_i) + K\theta + \sigma\Delta W_i \quad (6)$$

dengan $i = 0,1,2,\dots,n$ dan $\Delta W_i = W(t_{i+1}) - W(t_i)$ berdistribusi sama dengan $\sqrt{\Delta t}Z_i$.

2. Persamaan (6) dimisalkan ke dalam bentuk regresi linear sederhana maka diperoleh:

$$Y_i = cX_i + d + U_i \quad (7)$$

dengan $Y_i = \frac{r(t_{i+1})-r(t_i)}{\Delta t}$, $X_i = r(t_i)$, $c = -K$, $d = K\theta$, dan $U_i = \sigma\Delta W_i$.

3. persamaan (7) dimodelkan ke dalam bentuk matriks seperti berikut ini.

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} X_1 & 1 \\ X_2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ X_n & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \vdots \\ Z_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

dengan \mathbf{X} menyatakan matriks data pengamatan berordo $k \times 2$ dari variabel X_i , \mathbf{Y} menyatakan vektor kolom dari variabel Y_i , dan \mathbf{Z} menyatakan matriks sebagian atau keseluruhan dari variabel X_i yang berordo $n \times 2$.

4. Setelah diperoleh model matriks pada persamaan (8), berikutnya mmenentukan nilai $\hat{\beta}_0$ menggunakan persamaan (5) dengan memisalkan $\widehat{W}_0 = \mathbf{I}$ yang merupakan matriks identitas berordo $N \times N$. Kemudian, hasil perhitungan $\hat{\beta}_0$ digunakan untuk menghitung \hat{J}_0 yang persamaannya disajikan sebagai berikut.

$$J_0 = T^{-2} \left[(\mathbf{Z}'(\mathbf{Y} - \mathbf{X}\hat{\beta}))' (\mathbf{Z}'(\mathbf{Y} - \mathbf{X}\hat{\beta})) \right] \quad (9)$$

dengan T menyatakan jumlah data yang diamati.

5. Nilai \hat{J}_0 diinverskan untuk memperoleh nilai \widehat{W}_1 yang kemudian disubstitusikan pada persamaan (5) diperoleh:

$$\hat{\beta} = \begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix}. \quad (10)$$

6. Merujuk pada persamaan (7) dan (10), diperoleh persamaan untuk menghitung parameter-parameter dalam suku bunga model CIR sebagai berikut :

$$K = -c \quad (11)$$

$$\theta = \frac{d}{K} \quad (12)$$

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{\Delta tn}} \varepsilon = \frac{1}{\sqrt{\Delta tn}} \mathbf{Y} - \mathbf{X}\hat{\beta}. \quad (13)$$

2.4 Simulasi Milstein

Tingkat suku bunga model CIR ditentukan melalui simulasi. Metode Milstein adalah metode numerik yang dapat digunakan untuk menghasilkan solusi numerik dari persamaan diferensial stokastik dengan *order strong convergence* 1. Apabila diketahui persamaan diferensial stokastik sebagai berikut:

$$dr(t) = g(r(t))dt + h(r(t))dW(t), \quad r(0) = r_0, \quad 0 \leq t \leq T$$

maka diperoleh skema Milstein, yaitu

$$r_t = r_{t-1} + \Delta t g(r_{t-1}) + h(r_{t-1})(W(T_t) - W(T_{t-1})) + \frac{1}{2} h(r_{t-1})h'(r_{t-1}) \left((W(T_t) - W(T_{t-1}))^2 - \Delta t \right) \quad (14)$$

dengan $t = 1, 2, \dots, K$ dan $\Delta t = \frac{T}{K}$ (Nastiti, 2015). K menyatakan banyaknya diskritisasi, sementara itu, $T_t = t\Delta t$ dan $W(T_t) - W(T_{t-1}) = dWt$ dengan $dWt = \sqrt{\Delta t} N(0,1)$.

2.5 Ekuitas dan Liabilitas Merton

Teori dalam model Merton, terdapat dua kemungkinan kondisi perusahaan ketika jatuh tempo, yaitu *default* dan tidak *default*. Dikatakan *default* apabila nilai aset saat jatuh tempo kurang dari liabilitas perusahaan sehingga nilai ekuitasnya adalah nol. Namun, apabila nilai aset lebih besar dari liabilitas perusahaan maka nilai ekuitas merupakan hasil pengurangan dari nilai aset dikurangi liabilitas. Berikut ditunjukkan persamaan ekuitas berdasarkan model Merton (Wirwana, 2018):

$$E_M = V_t N(d_1) - L e^{(-r_{cir}(T-t))} N(d_2) \quad (15)$$

dengan dengan, V_t menyatakan nilai keseluruhan aset perusahaan waktu ke $-t$, L menyatakan nilai utang atau nilai nominal pada obligasi, r_{cir} menyatakan suku bunga Cox Ingersoll Ross, $N(\cdot)$ menyatakan fungsi distribusi normal standar kumulatif, $(T - t)$ menyatakan waktu hingga jatuh tempo, dan σ menyatakan volatilitas dari V_t . Terkait perhitungan d_1 dan d_2 ditunjukkan persamaannya sebagai berikut :

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{V_t}{L}\right) + \left(r_{cir} + \frac{1}{2}\sigma^2\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{(T-t)}} \quad (16)$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{V_t}{L}\right) + \left(r_{cir} - \frac{1}{2}\sigma^2\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{(T-t)}}. \quad (17)$$

Selanjutnya, ditunjukkan persamaan liabilitas model Merton, diperoleh :

$$F(V_T, T) = L e^{(-r_{cir}(T-t))} N(d_2) \quad (18)$$

dengan, $F(V_T, T)$ menyatakan nilai liabilitas perusahaan saat waktu ke- T .

2.6 Probability Of Default

Salah satu pertimbangan dasar seorang investor melakukan investasi ialah dengan mengetahui analisis kredit yang diantaranya didasari oleh aspek *probability of default* atau probabilitas gagal bayar. Peluang terjadinya kondisi nilai pari obligasi lebih besar dibandingkan nilai keseluruhan aset ketika tanggal jatuh tempo diartikan sebagai probabilitas gagal bayar (Wirwana, 2018). Oleh karena itu, diperoleh persamaan *probability of default* sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 PD &= P[V_T < L] \\
 &= N \left[- \frac{\ln\left(\frac{V_t}{L}\right) + \left(r_{cir} - \frac{1}{2}\sigma^2\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{(T-t)}} \right] \\
 &= 1 - N \left[d_1 - \sigma\sqrt{(T-t)} \right] \tag{19}
 \end{aligned}$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Deskripsi data

Berikut ditunjukkan pada Tabel 1 terkait data obligasi Bank BRI kode BBRI02BCN4 dan data aset kuartal empat tahun 2022 yang digunakan dalam perhitungan ekuitas, liabilitas dan *probability of default* model Merton.

Tabel 1. Data Obligasi dan Aset Bank BRI

Data	Nilai
Aset	Rp1.865.639.010.000.000
Nominal Obligasi	Rp605.000.000.000
Tahun Terbit	2018
Jatuh Tempo	2025

3.2 Volatilitas Bank BRI

Perhitungan volatilitas penting sebab memberikan informasi bagi para investor terkait pergerakan nilai aset perusahaan. Volatilitas yang tinggi akan mengakibatkan risiko kredit yang tinggi begitupun sebaliknya. Mengenai hal ini, dengan mengacu pada persamaan (3) menggunakan *software* Matlab R2021a diperoleh nilai volatilitas tahunan Bank BRI sebesar sebesar 0,0922 atau 9,22%. Hasil yang diperoleh menunjukkan nilai volatilitas aset Bank BRI tergolong kecil sehingga indikasi adanya kemungkinan risiko gagal membayar nilai nominal obligasi saat jatuh tempo ialah kecil.

3.3 Estimasi Parameter Suku Bunga Model CIR

Estimasi parameter model CIR diperoleh dengan melakukan perhitungan secara komputasi menggunakan *software* Matlab R2021a. Berdasarkan persamaan (11), (12), dan (13) ditampilkan pada Tabel 2 hasil perhitungan parameter CIR menggunakan *generalized method of moment*.

Tabel 2 Nilai Parameter Suku Bunga Model CIR

Koefisien	Nilai parameter
K	0,0193
θ	0,4145
σ	0,0020

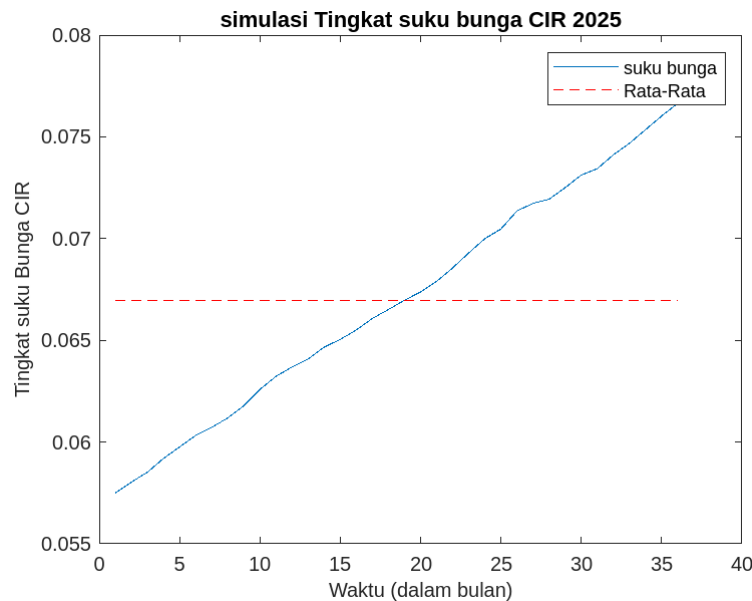
Sumber : data diolah (2023)

3.4 Suku Bunga CIR Jangka Pendek

Berdasarkan Tabel 2 diperoleh persamaan Model CIR sebagai berikut :

$$dr(t) = 0,0193(0,4145 - r(t)) + 0,0020\sqrt{r(t)} \quad (20)$$

Selanjutnya, ditentukan nilai perkiraan suku bunga BI dari tahun 2023-2025 dengan menerapkan simulasi milstein pada persamaan (20). Mengacu pada persamaan (14) dan (20) menggunakan Matlab R2021a, ditampilkan grafik hasil peramalan suku bunga BI mengikuti model CIR untuk periode 2023-2025 pada Gambar 1.



Gambar 1. Ramalan Pergerakan Tingkat Suku Bunga BI Tahun 2023-2025
 Sumber: data diolah (2023)

Pergerakan tingkat suku bunga BI pada Gambar 1 memperlihatkan nilai rata-rata suku bunga BI selama tiga tahun sebesar 0,0667 atau 6,67% dengan nilai suku bunga awal yang digunakan pada simulasi Milstein merupakan nilai suku bunga pada bulan Januari tahun 2023 sebesar 0,0575 atau 5,75%. Suku bunga BI yang digunakan dalam menghitung nilai ekuitas ketika jatuh tempo ialah tingkat suku bunga rata-rata tahun 2025. Berikut ditunjukkan pada Tabel 3 tingkat suku bunga BI rata-rata tahun 2023-2025 berdasarkan simulasi Milstein.

Tabel 3. Rata-Rata Tingkat Suku Bunga BI 2023-2025

t	Rata-Rata Tingkat Suku Bunga BI (%) ($r(t)$)
2023	6,02
2024	6,65
2025	7,28

Sumber : data diolah (2023)

3.5 Nilai Ekuitas dan Liabilitas Bank BRI

Mengestimasi nilai ekuitas menjadi salah satu perhitungan dalam model Merton. Perhitungan ini bertujuan untuk memprediksi besarnya nilai kekayaan bersih sebuah perusahaan dan mengukur kemampuan perusahaan dalam membayar utang pokok obligasi saat jatuh tempo. Sebelum menghitung nilai ekuitas, terlebih dahulu ditentukan nilai d_1 dan d_2 menggunakan Matlab R2021a dengan merujuk pada persamaan (16) dan (17). Nilai d_1 diperoleh sebesar 35,14 dan nilai d_2 sebesar 34,90. Kemudian, data pada tabel 1, nilai d_1 , nilai d_2 , serta nilai r_{cir} sebesar 7,28% dan σ sebesar 9,22% disubstitusikan ke dalam persamaan (15) dan (18) untuk memperoleh nilai ekuitas dan liabilitas Bank BRI. Berikut ditampikan hasil perhitungan ekuitas dan liabilitas Bank BRI saat jatuh tempo pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Ekuitas dan Liabilitas Bank BRI Tahun 2025

Data	Nilai
Ekuitas	Rp 1.865.275.564.825.820,00
Liabilitas	Rp363.445.174.179,36

Sumber: data diolah (2023)

3.6 Probabilitas Gagal Bayar

Estimasi risiko kredit menggunakan model Merton didasari dengan menentukan nilai *Probability Of Default* (PD). *Probability Of Default* adalah peluang nilai aset perusahaan menjadi kurang dari nilai nominal obligasi selaku utang saat jatuh tempo (wirwana,2018). Berdasarkan persamaan 17 menggunakan *software* R 4.1.2 diperoleh nilai PD sebagai berikut :

$$\begin{aligned} PD &= 1 - N \left[d_1 - \sigma \sqrt{(T - t)} \right] \\ &= 1 - N \left[35,14 - 0,0922 \sqrt{7} \right] \\ &= 1 - N [34,90] \\ &= 1 - 1 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Nilai $N(34,90)$ diperoleh menggunakan *software* R.4.1.2, yaitu 1 sehingga PD Bank BRI sebesar 0,0%. Hal ini menandakan Bank BRI tidak terindikasi akan mengalami risiko kredit dalam hal pembayaran nilai nominal obligasi kode BBRI02BCN4 berdasarkan perhitungan model Merton.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Simpulan

Perhitungan risiko kredit obligasi menggunakan model Merton hanya didasari penilaian terhadap nilai ekuitas dan *Probability Of Default* (PD). Berdasarkan hasil perhitungan ekuitas dan liabilitas model Merton dengan menggunakan suku bunga CIR sebesar 7,28% secara berturut-turut diperoleh sebesar Rp1.865.275.564.825.820,00 dan Rp363.445.174.179,36. Hal ini menandakan modal atau kekayaan Bank BRI mampu membayar utang pokok sebesar nilai nominal pada obligasi. Sementara itu, perolehan PD sebesar 0,0% mengindikasikan tidak adanya risiko kredit berupa gagal bayar saat jatuh tempo.

4.2 Saran

Penelitian ini hanya berfokus pada data nilai aset perusahaan dan diasumsikan menerapkan sistem *zero coupon bond*. Oleh karena itu, disarankan pada penelitian selanjutnya dapat menentukan risiko kredit dengan menambah variabel seperti rating obligasi dan kupon obligasi menggunakan credit metrik.

Daftar Pustaka

- Afifah, S. S., Dharmawan, K., & Srinadi, I. G. A. M. (2022). Perhitungan Risiko Kredit KPR Pada Bank XYZ Menggunakan Metode Creditrisk+. *E-Jurnal Matematika*, 11(2), 94-99. <https://doi.org/10.24843/MTK.2022.v11.i02.p366>
- Anggoro, A. S., Mustafid, M., & Kartikasari, P. (2023). Pendekatan Model Kmv Merton Untuk Pengukuran Nilai Risiko Kredit Obligasi Expected Default Frequency (Edf)

- DilengkapiGui R. *Jurnal Gaussian*, 12(1), 92–103.
<https://doi.org/10.14710/j.gauss.12.1.92-103>.
- BPS. (2023). *BI Rate 2022*. Badan Pusat Statistik. Retrieved Mei 11, 2023, From <https://www.bps.go.id/indicator/13/379/2/bi-rate.html>.
- BRI. (2022). *Financial Reports*. PT Bank Rakyat Indonesia . Retrieved Mei 11, 2023, From <https://www.ir-bri.com/financials.html>.
- KSEI. (2022). *Efek Yang Terdaftar Pada Jenis Obligasi Korporasi*. Retrieved Mei 11, 2023, From www.ksei.co.id.
- Mariana, E., Apriliani, E., & Surjanto, S. D. (2015). Estimasi parameter pada model suku bunga Cox Ingersoll Ross (CIR) menggunakan Kalman Filter untuk menentukan harga zero coupon bond. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 4(2), 2337–3520.
- Nastiti, Zebrilia. D. (2015). *Implementasi Model Tingkat Suku Bunga Cox Ingersoll Ross (CIR) Untuk Menentukan Iuran Normal Pensiun Program Manfaat Pasti*. Insitut Teknologi Sepuluh November.
- Nurani, G. (2019). *Estimasi Parameter Model Cox Ingersol Ross Menggunakan Metode Generalized Methode of Moments*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Tandelilin, E. (2017). *Pasar Modal Manajemen Portofolio & Investasi*. Yogyakarta: PT Kanisius.
- Wirwana, D., Sulistianingsih, E., & Perdana, H. (2018). Penilaian Risiko Kredit Korporasi Berdasarkan Probabilitas Kegagalan Dengan Model Merton. *Buletin Ilmiah Matematika, Statistika, Dan Terapannya (Bimaster)*, 7(3), 209–216.