

## Perbandingan Model Nelson-Siegel dan Model Nelson-Siegel Svensson dalam Estimasi Kurva Yield Surat Berharga Negara Kesatuan Republik Indonesia Tahun 2022

Petra Abdi Paskalisa<sup>1,a)</sup> and Tiara Yosianti Solekhah<sup>2,b)</sup>

<sup>1-2</sup>Program Studi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara BLS 21 Yogyakarta, Indonesia

a) [petra.abdi.paskalisa@mail.ugm.ac.id](mailto:petra.abdi.paskalisa@mail.ugm.ac.id), b) [tiara.y@mail.ugm.ac.id](mailto:tiara.y@mail.ugm.ac.id)

**Abstrak.** Kurva *yield* merupakan kurva yang menggambarkan hubungan antara *yield* (imbal hasil) dengan jangka waktu jatuh tempo. Penerapan kurva *yield* salah satunya ada pada kasus transaksi obligasi. Kurva *yield* biasa digunakan oleh para investor untuk menentukan waktu yang tepat dalam pembelian obligasi. Dalam memperoleh kurva *yield*, dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai pendekatan. Penelitian ini membahas mengenai pembentukan kurva *yield* dengan menggunakan model Nelson-Siegel dan model Nelson-Siegel Svensson dari obligasi pemerintah Indonesia. Untuk mengetahui model mana yang terbaik dalam membentuk kurva *yield*, akan dibandingkan nilai MSE dari model Nelson-Siegel dan Nelson-Siegel Svensson. Hasil perbandingan model Nelson-Siegel dan model Nelson-Siegel Svensson pada bulan Maret menunjukkan bahwa model Nelson-Siegel Svensson memberikan nilai MSE yang lebih kecil ( $9.750024e-07$ ) dibandingkan dengan model Nelson-Siegel ( $9.751698e-07$ ) untuk menduga kurva *yield* obligasi pemerintah di Indonesia berdasarkan periode pengamatan dari bulan Januari 2022 sampai bulan September 2022.

**Kata kunci :** Kurva *yield*, Nelson-Siegel, Nelson-Siegel Svensson

### 1. Pendahuluan

#### 1.1. Latar Belakang

Obligasi telah menjadi instrumen utama dalam pendanaan maupun sarana investasi. Hal ini ditandai dengan pertumbuhan penerbitan rutin obligasi di pasar perdana dan peningkatan aktivitas perdagangan obligasi di pasar sekunder.

Tingkat *yield* yang diperoleh investor merupakan salah satu faktor pertimbangan utama investor sebelum berinvestasi obligasi. Kurva *yield* merupakan salah satu alat untuk menentukan waktu yang tepat dalam pembelian obligasi. Keputusan investasi tersebut akan berdampak pada perolehan *yield* yang senantiasa berubah seiring dengan berjalannya waktu. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu analisis untuk mengetahui pembentukan kurva *yield*.

Penelitian mengenai pembentukan kurva *yield* obligasi pemerintah telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Menurut Tanijaya [1], model Nelson-Siegel Svensson merupakan pemodelan kurva *yield* yang dapat digunakan untuk melakukan kalkulasi obligasi yang tanggal jatuh temponya di luar dari obligasi yang membentuk model. Penelitian Yunianto [2] menyatakan bahwa model kurva *yield* yang paling sesuai digunakan di Indonesia adalah

Nelson-Siegel Svensson berdasarkan periode pengamatan awal tahun 2002 hingga pertengahan bulan Agustus 2004. Akan tetapi, penelitian Rhosyied et al. [3] menyatakan bahwa model Nelson-Siegel merupakan model yang tepat dalam pembentukan data kurva imbal hasil obligasi pada tanggal 6 April 2009. Perbedaan data deret waktu yang digunakan menyebabkan perbedaan hasil penelitian.

Penelitian ini membahas pembentukan kurva *yield* menggunakan model Nelson-Siegel dan model Nelson-Siegel Svensson dari data obligasi pemerintah Indonesia periode bulan Januari 2022 hingga September 2022. Untuk mengetahui model terbaik dalam membentuk kurva *yield*, akan dibandingkan nilai MSE dari kedua model.

## 1.2. Tujuan Penelitian

- 1) Untuk membentuk model, kurva *yield*, dan nilai kesalahan (MSE) dengan model Nelson Siegel.
- 2) Untuk membentuk model, kurva *yield*, dan nilai kesalahan (MSE) dengan model Nelson Siegel Svensson.
- 3) Untuk memilih model terbaik diantara model Nelson-Siegel dan model Nelson-Siegel Svensson dalam estimasi kurva *yield* surat berharga Negara Kesatuan Republik Indonesia.

## 2. Landasan Teori

### 2.1. Surat Berharga Negara

Surat Berharga Negara (SBN) merupakan bagian dari instrumen pembiayaan APBN yang termasuk ke dalam utang pemerintah pusat. Pembayaran bunga dan pokok SBN dijamin oleh Negara Republik Indonesia yang disesuaikan dengan masa berlaku dan tenggat waktu jatuh tempo dari masing-masing jenis SBN. Secara umum SBN terbagi ke dalam dua kategori yaitu Surat Utang Negara (SUN) dan Surat Berharga Syariah Negara (SBSN). Pembahasan tentang Obligasi Negara akan disamakan dengan SUN karena Obligasi adalah bagian dari SUN. Menurut UU No. 24 tahun 2002 pasal 1 [4], SUN adalah surat berharga yang berupa surat pengakuan utang dalam mata uang rupiah maupun valuta asing yang dijamin pembayaran bunga dan pokoknya oleh Negara Republik Indonesia sesuai dengan masa berlakunya.

### 2.2. Obligasi

Obligasi adalah salah satu instrumen surat utang yang diterbitkan oleh pemerintah atau perusahaan untuk mendapatkan dana (Zubir, [5]). Pihak penerbit obligasi akan membayarkan bunga setiap periode berdasarkan perjanjian awal obligasi diterbitkan dan

saat tanggal jatuh tempo, serta utang pokoknya akan dikembalikan kepada pemegang obligasi. Jangka waktu obligasi yang saat ini diperdagangkan di pasar uang berkisar antara enam puluh hari sampai tiga puluh tahun (Zubir, [5]). Obligasi terdapat beberapa jenis yang salah satunya adalah obligasi yang diterbitkan oleh pemerintah. Obligasi yang diterbitkan pemerintah sejauh ini dianggap paling likuid dan tidak mungkin gagal bayar karena pembayarannya dijamin oleh pemerintah.

### 2.3. Yield

*Yield* jatuh tempo merupakan tingkat pengembalian (*return*) yang diperoleh investor dari sebuah obligasi yang dimilikinya sampai tanggal jatuh tempo. Investor akan memilih obligasi yang memberikan *yield* (imbal hasil) jatuh tempo yang tinggi pada tingkat risiko dan jangka waktu yang sama. Pendekatan untuk pembentukan kurva imbal hasil terbagi menjadi tiga model yaitu pendekatan regresi, pendekatan empiris, dan pendekatan equilibrium. Pendekatan regresi merupakan suatu pendekatan dengan menggambarkan hubungan *yield* jatuh tempo dengan waktu jatuh tempo dari serangkaian obligasi. Pendekatan empiris menggambarkan hubungan *yield* jatuh tempo dengan waktu jatuh tempo dari serangkaian obligasi dengan memperhitungkan *yield* dari kupon. Pendekatan empiris yang sering digunakan adalah pendekatan Nelson-Siegel dan Nelson-Siegel Svensson. Pendekatan equilibrium atau *dynamic asset pricing approach* melihat secara dinamis bentuk dari struktur waktu dan evolusinya terhadap waktu.

### 2.4. Model Nelson-Siegel.

Model Nelson-Siegel dikemukakan oleh Charles Nelson dan Andrew Siegel dari University of Washington pada tahun 1987 (Boldier dan Streliski, [6]). Model ini dirumuskan sebagai berikut:

$$y_i(\lambda; \beta, \tau) = \beta_0 + \beta_1 e^{\left(-\frac{\lambda_i}{\tau}\right)} + \beta_2 \frac{\lambda_i}{\tau} e^{\left(-\frac{\lambda_i}{\tau}\right)}$$

Dimana  $y$  adalah *yield*,  $\lambda$  adalah *time to maturity*,  $\beta$  adalah linear parameter dengan

$\beta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2)'$ ,  $\tau$  adalah parameter non-linear, dan  $i$  adalah indeks dari obligasi.  $\beta_0$  adalah fungsi awal dari *time to maturity*,  $\beta_1$  menentukan kurva pemulihan (jangka pendek) dalam berbagai penyimpangan,  $\beta_2$  menentukan besar dan arah maksimum, dan  $\tau$  menentukan posisi maksimum atau bentuk kurva U. Semua parameter dari model ini memiliki beberapa batasan yaitu  $\beta_0 > 0$ ,  $\beta_0 + \beta_1 > 0$ , dan  $\tau > 0$ .

### 2.5. Model Nelson-Siegel Svensson

Model Nelson-Siegel Svensson adalah penambahan dari model Nelson-Siegel oleh Lars E. O. Svensson pada tahun 1994. Svensson menambahkan satu bentuk lengkungan (*hump*) ke dalam model dengan cara memasukkan parameter  $\beta_3$  dan  $\tau_2$  dengan tujuan meningkatkan fleksibilitas kurva *yield*. Persamaan dari Nelson-Siegel Svensson adalah sebagai berikut (Svensson, [8]):

$$y_i(\lambda; \beta, \tau) = \beta_0 + \beta_1 e\left(-\frac{\lambda_i}{\tau_1}\right) + \beta_2 \frac{\lambda_i}{\tau_1} e\left(-\frac{\lambda_i}{\tau_1}\right) + \beta_3 \frac{\lambda_i}{\tau_2} e\left(-\frac{\lambda_i}{\tau_2}\right)$$

Dimana  $y$  adalah *yield*,  $\lambda$  adalah *time to maturity*,  $\beta$  adalah linear parameter dengan

$\beta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3)'$ ,  $\tau = (\tau_1, \tau_2)'$  adalah parameter non-linear, dan  $i$  adalah indeks dari obligasi dengan  $i=1, 2, 3, \dots$ .  $\beta_0$  adalah nilai konstanta yang selalu konstan jika jangka waktu jatuh tempo mendekati nol,  $\beta_1$  adalah untuk menentukan nilai awal kurva (jangka pendek) dalam berbagai bentuk penyimpangan, kurva akan miring negatif jika parameternya positif dan sebaliknya,  $\beta_2$  adalah untuk menentukan besar dan arah kurva maksimum, jika  $\beta_2$  positif maka maksimum akan terjadi pada  $\tau_1$ , jika  $\beta_2$  negatif maka akan terbentuk kurva bentuk U pada  $\tau_1$  dan  $\beta_3$  *equal*  $\beta_2$  yang menentukan besar dan arah maksimum,  $\tau_1$  menentukan posisi spesial dari *first maximum* atau kurva bentuk U,  $\tau_2$  menentukan posisi *second maximum* atau bentuk kurva U. Semua parameter dari model ini memiliki beberapa batasan yaitu  $\beta_0 > 0$ ,  $\beta_0 + \beta_1 > 0$ , dan  $\tau_{1,2} > 0$ .

## 2.6. Model Estimasi

Untuk menentukan nilai parameter dari model Nelson-Siegel Class, peneliti mengestimasi parameter untuk meminimalkan *sum of squared errors* antara estimasi *yield*,  $y^{SF}$ , dan *observed yield to maturity*,  $y$ , sehingga dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\hat{\theta}_i = \arg \min_{\theta_i} \sum_{i=1}^p (y_i^{SF} - y_i)^2$$

*Sum of squared errors* dalam persamaan diatas, menggunakan *nonlinear least square*, persamaan ini memiliki *inequality constraints*, *constraints* tersebut berisi beberapa parameter di setiap model. *Constraints* ini dapat ditransformasikan menjadi *equality constraint* dengan menambahkan *slack variabel* yang non-negatif (Rao, [9]). Persamaan di atas dapat dioptimisasi dengan *equality constraint* sebagai berikut:

$$\hat{\theta}_i = \arg \min_{\theta_i} \sum_{i=1}^p (y_i^{SF} - y_i)^2 \text{ subject to } c_j(\theta) - a_j^2 = 0$$

Optimisasi dari persamaan diatas dapat dibentuk fungsi Lagrange sebagai berikut:

$$\mathcal{L}(\theta, \mu) = \hat{\theta}_i - \sum_j^n \mu_j c_j(\theta) - a_j^2$$

Dimana  $\theta$  adalah parameter dari fungsi,  $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)'$  adalah vektor Lagrange dengan non-positif,  $\hat{\theta}_i$  adalah *sum of squared errors* pada setiap model,  $c$  adalah *constraint* dari setiap model, dan  $a = (a_1, a_2, \dots, a_n)'$  adalah vektor dari *slack variable*. Penjelasan lebih detail dapat dilihat pada Rao [11].

Untuk meminimumkan persamaan Lagrange di atas, akan digunakan pendekatan model iterasi L-BFGS-B yang merupakan perluasan dari model L-BFGS atau LM-BFGS (*limited memory BFGS*) yang memiliki parameter terikat. Model BFGS adalah kombinasi model yang diusulkan oleh Broyden, Fletcher, Goldfarb, dan Shanno. Model ini merupakan perluasan dari model quasi-Newton atau model keturunan (Griva et.al, [10]). Seperti yang disampaikan oleh Kelly [11].

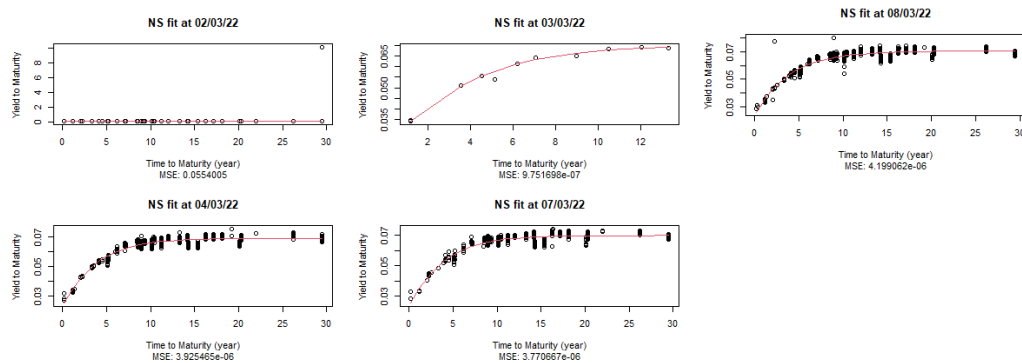
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Data dan Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan data Surat Berharga Negara (SBN) yang berupa data obligasi pemerintah pada periode bulan Januari 2022 hingga bulan September 2022. Sedangkan, variabel yang digunakan antara lain kode obligasi (*bond code*), harga obligasi (*price*), jumlah obligasi yang diperdagangkan (*volume*), jumlah uang yang dipinjam oleh negara (*value*), tanggal perdagangan (*trade date*), besar bunga dari obligasi (*coupon*), tanggal jatuh tempo dari obligasi (*maturity date*), jangka waktu obligasi (*tenor*), dan imbal hasil yang diharapkan oleh investor obligasi dalam kurun waktu satu tahun (*yield-1*, dalam persen, dan *yield*, dalam desimal).

#### 3.2. Model Nelson Siegel

Kurva *yield* model Nelson Siegel dikonstruksikan berdasarkan sampel data pada tanggal 2, 3, 4, 7, dan 8 di bulan Maret serta tanggal 2, 3, 6, 7, dan 8 Juni 2022. Pembentukan kurva *yield* dan estimasi parameter model Nelson Siegel akan menggunakan *software R*.



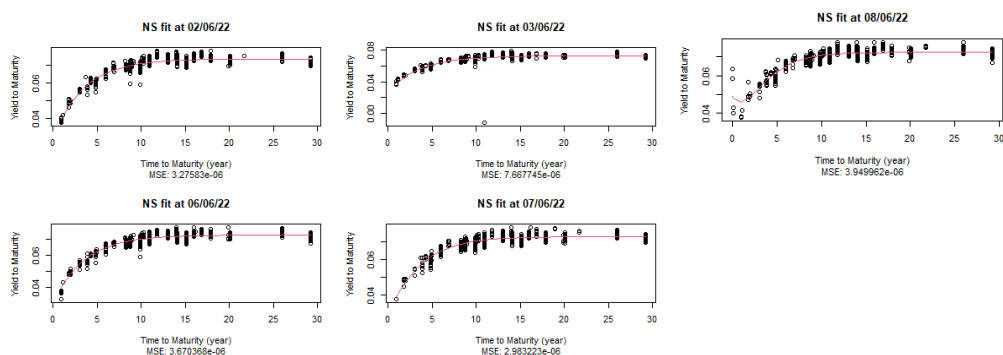
Gambar 1. Kurva *Yield* Model Nelson Siegel Bulan Maret 2022

Berdasarkan kurva *yield* pada bulan Maret di atas terlihat bahwa kurva tanggal 2 Maret 2022 tidak memiliki bentuk melengkung seperti kurva pada tanggal lain, tetapi cenderung linear secara horizontal.

Tabel 1. Parameter dan MSE Model Nelson Siegel Bulan Maret 2022

	Tanggal				
	2 Maret 2022	3 Maret 2022	4 Maret 2022	7 Maret 2022	8 Maret 2022
b0	469.5069	0.07016247	0.06878893	0.06977137	7.061153e-02
b1	-469.4391	-0.04737775	-0.04606197	-0.04657029	-4.71513e-02
b2	-472.1512	-0.02151784	-0.01094267	-0.01164067	-2.15981e-05
tau1	1382.5661	2.57924854	3.02247929	3.05745573	3.931534e+0
MSE	0.0554005	9.751698e-07	3.925465e-06	3.770667e-06	4.199062e-06

Pada tabel 1 di atas, dapat diketahui bahwa nilai MSE pada tanggal 3 Maret 2022 merupakan yang paling rendah daripada tanggal yang lain. Nilai MSE yang rendah menandakan bahwa model semakin baik untuk digunakan.



Gambar 2. Kurva *Yield* Model Nelson Siegel Bulan Juni 2022

Berdasarkan kurva *yield* pada bulan Juni di atas, semua kurva memiliki bentuk yang relatif sama yaitu melengkung digambarkan dengan garis merah.

Tabel 2. Parameter dan MSE Model Nelson Siegel Bulan Juni 2022

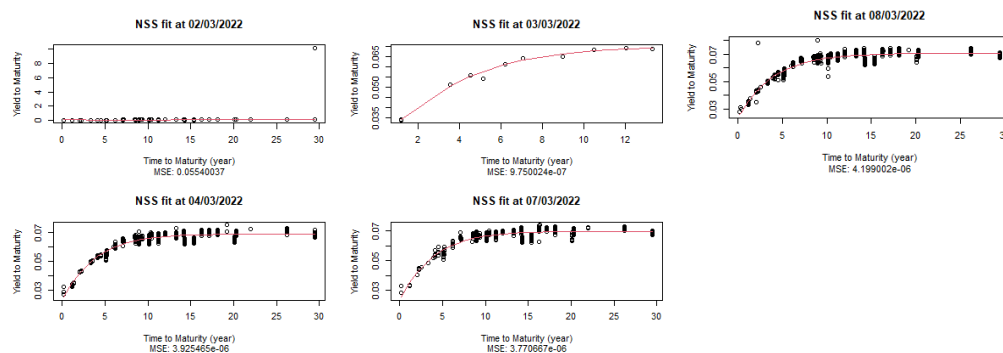
	Tanggal				
	2 Juni 2022	3 Juni 2022	6 Juni 2022	7 Juni 2022	8 Juni 2022
b0	7.34441e-02	7.27306e-02	7.249264e-02	0.07271678	0.07242779
b1	-4.4338e-02	-4.45172e-02	-4.24434e-02	-0.04298680	-0.02337048
b2	-1.2073e-05	1.14488e-05	1.521696e-05	-0.01086881	-0.04035308
tau1	3.5197e+00	3.68737e+00	3.495823e+0	2.86117789	2.01835191
MSE	3.27583e-06	7.66774e-06	3.670368e-06	2.983223e-06	3.949962e-06

Pada tabel 2 di atas, dapat diketahui bahwa nilai MSE pada tanggal 7 Juni 2022 merupakan yang paling rendah daripada tanggal yang lain pada sampel. Apabila model pada bulan Maret dan Juni dibandingkan, model dengan nilai MSE paling rendah ada pada tanggal 3 Maret 2022. Oleh karena itu, model dengan parameter pada bulan Maret sebagai berikut akan dibandingkan dengan model terbaik dari Nelson Siegel Svensson.

$$y_i(\lambda; \beta, \tau) = 0.070 - 0.047e^{\left(-\frac{\lambda_i}{2.579}\right)} - 0.021 \frac{\lambda_i}{2.579} e^{\left(-\frac{\lambda_i}{2.579}\right)}$$

### 3.3. Model Nelson Siegel Svensson

Kurva *yield* model Nelson Siegel Svensson dikonstruksikan berdasarkan sampel data pada tanggal 2, 3, 4, 7, dan 8 di bulan Maret serta tanggal 2, 3, 6, 7, dan 8 Juni 2022. Pembentukan kurva *yield* dan estimasi parameter model Nelson Siegel Svensson akan menggunakan *software* R.



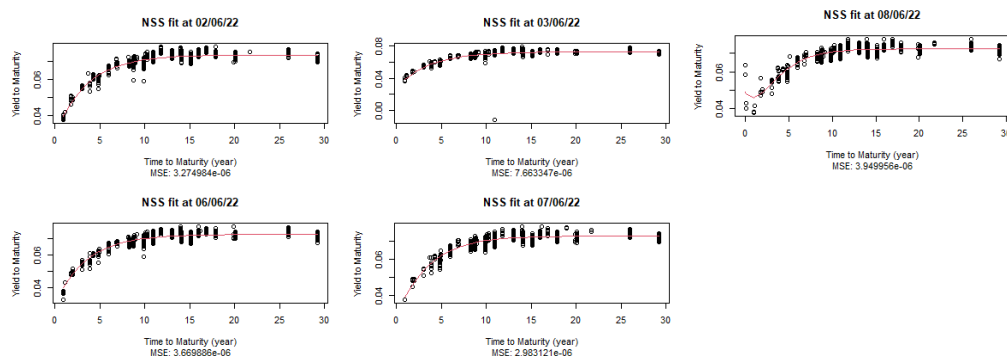
Gambar 3. Kurva *Yield* Model Nelson Siegel Svensson Bulan Maret 2022

Berdasarkan kurva *yield* pada bulan Maret di atas terlihat bahwa kurva tanggal 2 Maret 2022 tidak memiliki bentuk melengkung seperti kurva pada tanggal lain, tetapi cenderung linear secara horizontal.

Tabel 3. Parameter dan MSE Model Nelson Siegel Svensson Bulan Maret 2022

	Tanggal				
	2 Maret 2022	3 Maret 2022	4 Maret 2022	7 Maret 2022	8 Maret 2022
b0	809.5240	0.07018639	0.0687893280	0.0697683183	0.07061254
b1	-809.4577	-0.04754745	-0.046061135	-0.046576817	-0.04716522
b2	-414.3960	-0.04091179	-0.011757739	-0.011926378	-0.01143764
b3	-396.6232	0.01768789	0.0008105603	0.0002524122	0.01150406
tau1	1864.8692	2.47930514	3.0222497019	3.0550992950	3.93789887
tau2	1856.9040	2.33327522	3.0120037382	3.0405464564	3.93453512
MSE	0.05540037	9.75002e-07	3.925465e-06	3.770667e-06	4.199002e-06

Pada tabel 3 di atas, dapat diketahui bahwa nilai MSE pada tanggal 3 Maret 2022 merupakan yang paling rendah daripada tanggal yang lain pada sampel.



Gambar 4. Kurva *Yield* Model Nelson Siegel Svensson Bulan Juni 2022

Berdasarkan kurva *yield* pada bulan Juni di atas, semua kurva memiliki bentuk yang relatif sama yaitu melengkung digambarkan dengan garis merah.

Tabel 4. Parameter dan MSE Model Nelson Siegel Svensson Bulan Juni 2022

	Tanggal				
	2 Juni 2022	3 Juni 2022	6 Juni 2022	7 Juni 2022	8 Juni 2022
b0	0.07346185	0.07277997	0.072500695	0.07271641	0.07242945
b1	-0.04445295	-0.04481734	-0.042514568	-0.04296695	-0.02340996
b2	-0.02048919	-0.02412120	-0.008242995	-0.01695688	-0.02362298
b3	0.01909526	0.02417696	0.008070761	0.00537010	-0.01664165
tau1	3.40146270	3.66303615	3.474637647	2.81324363	2.02092905



tau2	.37157670	3.60835095	3.450683185	2.70802238	2.01914287
MSE	3.27498e-06	7.66335e-06	3.669886e-06	2.983121e-06	3.949956e-06

Pada tabel 4 di atas, dapat diketahui bahwa nilai MSE pada tanggal 7 Juni 2022 merupakan yang paling rendah daripada tanggal yang lain pada sampel. Diantara nilai MSE pada bulan Maret dan bulan Juni, tanggal 3 Maret 2022 memiliki nilai MSE paling kecil dengan model sebagai berikut.

$$y_i(\lambda; \beta, \tau) = 0.070 - 0.047e^{\left(-\frac{\lambda_i}{2.479}\right)} - 0.041 \frac{\lambda_i}{2.479} e^{\left(-\frac{\lambda_i}{2.479}\right)} + 0.012 \frac{\lambda_i}{2.333} e^{\left(-\frac{\lambda_i}{2.333}\right)}$$

Model terbaik Nelson Siegel ada pada tanggal 3 Maret 2022 dengan MSE sebesar 9.751698e-07. Sedangkan, model terbaik Nelson Siegel Svensson ada pada tanggal 3 Maret 2022 dengan MSE sebesar 9.750024e-07. Dengan demikian, model terbaik adalah model Nelson Siegel Svensson pada tanggal 3 Maret 2022 sebagai berikut.

$$y_i(\lambda; \beta, \tau) = 0.070 - 0.047e^{\left(-\frac{\lambda_i}{2.479}\right)} - 0.041 \frac{\lambda_i}{2.479} e^{\left(-\frac{\lambda_i}{2.479}\right)} + 0.012 \frac{\lambda_i}{2.333} e^{\left(-\frac{\lambda_i}{2.333}\right)}$$

#### 4. Penutup

##### 4.1. Kesimpulan

Diberikan data obligasi pemerintah Indonesia (SUN) pada periode bulan Januari 2022 hingga September 2022. Pada penelitian ini akan dibahas pembentukan kurva *yield* obligasi pemerintah Indonesia dengan menggunakan model Nelson-Siegel dan model Nelson-Siegel Svensson. Untuk mengetahui model terbaik dalam membentuk kurva *yield*, akan dibandingkan nilai MSE dari kedua model tersebut. Hasil perbandingan model Nelson-Siegel dan model Nelson-Siegel Svensson pada bulan Maret menunjukkan bahwa model Nelson-Siegel Svensson memberikan nilai MSE yang lebih kecil (9.750024e-07) dibandingkan dengan model Nelson-Siegel (9.751698e-07) untuk menduga kurva *yield* obligasi pemerintah di Indonesia pada periode pengamatan bulan Januari 2022 hingga September 2022. Dengan demikian, model terbaik adalah model Nelson Siegel Svensson.

##### 4.2. Saran

Berbagai model dalam membentuk kurva *yield* selain model Nelson Siegel dan Nelson Siegel Svensson masih banyak yang lain dimana belum dibahas dalam penelitian ini. Untuk itu, peneliti menyarankan untuk mencoba model-model lain agar dapat ditemukan model yang lebih baik lagi.

### **Tentang Penulis**

Penulis merupakan sekelompok mahasiswa program studi Statistika FMIPA Universitas Gadjah Mada, detail identitas mahasiswa penulis adalah:

- 1) Petra Abdi Paskalisa
- 2) Tiara Yosianti Solekhah

### **Daftar Pustaka**

- [1] Tanijaya R. 2010. Estimasi Kurva Yield di Indonesia dengan Menggunakan Pendekatan Regresi dan Empiris [Tesis]. Jakarta (ID): Universitas Indonesia.
- [2] Yunianto H. 5. Pemodelan “ Term Structure of Interest Rate” di Indonesia [Tesis]. Jakarta (ID): Universitas Indonesia.
- [3] Rhosyied A, Besari SI, Wijaya A. 2009. Model Regresi Non Linier dan Uji Deteksi Hubungan Non Linier. [Internet]. [diunduh 2022 November 15]
- [4] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2002 Tentang Surat Utang Negara (SUN).
- [5] Zubir Z. 2011. Portofolio Obligasi. Jakarta (ID): Salemba Empat.
- [6] D. Boldier and D. Strélski, Yield Curve Modelling at the Bank of Canada, Working Paper, (1999). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1082845>
- [7] C. R. Nelson, and A. Siegel, Parsimonious Modelling of Yield Curve, Journal of Business 60 (1987), pp. 473-489. <http://dx.doi.org/10.1086/296409>
- [8] Svensson, L.E. (1994), Estimating and Interpreting Forward Interest Rates: Sweden 1992-1994, IMF Working Paper, WP/94/114.
- [9] S.S. Rao, Engineering Optimization Theory and Practice, John Wiley & Sons.Inc, New Jersey, 2009.
- [10] I. Griva, S.G. Nash, and A. Sofer, Linear and Nonlinear Optimization. Siam. Philadelphia, 2009.
- [11] C.T. Kelly, Iterative Methods for Optimization, Siam, Philadelphia, 1999. <http://dx.doi.org/10.1137/1.9781611970920>