

Simulasi Waktu dan Dana Pensiun Berdasarkan Aturan 4% Menggunakan Metode Runge-Kutta Orde 4

Muhammad Hilmy Mahardika
Departemen Teknik Elektro,
Program Studi Teknik Komputer
Fakultas Teknik Universitas
Indonesia
Depok, Indonesia
2306267006

Abstract—Perencanaan pensiun merupakan strategi penting dalam pengelolaan keuangan jangka panjang. Makalah ini menyajikan simulasi akumulasi kekayaan menggunakan metode numerik Runge-Kutta Orde 4 (RK4) untuk menentukan usia optimal saat seseorang dapat mencapai kebebasan finansial, dengan mengacu pada aturan 4% (4% rule). Simulasi mempertimbangkan pengaruh inflasi sebesar 3%, return investasi sebesar 7%, serta pertumbuhan gaji dan pengeluaran tahunan. Model ini juga menerapkan konsep compound interest (bunga majemuk), di mana hasil investasi tahunan akan terus berkembang secara eksponensial. Program dikembangkan dalam bahasa C dan menerima input berupa usia awal, gaji tahunan, persentase tabungan, serta kekayaan awal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode RK4 sangat efektif dalam memberikan estimasi waktu pencapaian target dana pensiun secara akurat dan stabil, bahkan dalam proyeksi jangka panjang.

Keywords—metode numerik, *Runge-Kutta orde 4*, *compound interest*, *perencanaan pensiun*, *aturan 4% (4% rule)*, *pemrograman C*

I. PENDAHULUAN

Fenomena meningkatnya kesadaran akan pentingnya pensiun dini dan kebebasan finansial memunculkan kebutuhan terhadap metode perhitungan yang presisi. Aturan 4% (4% rule) adalah pendekatan populer yang menyatakan bahwa seseorang dapat menarik 4% dari total kekayaannya setiap tahun setelah pensiun tanpa menghabiskan seluruh asetnya selama masa pensiun.

Namun, untuk menentukan kapan seseorang dapat mencapai jumlah aset tersebut, perlu dilakukan pemodelan pertumbuhan aset dari waktu ke waktu. Dalam konteks ini, konsep bunga majemuk (compound interest) sangat penting karena kekayaan tidak hanya bertambah dari tabungan, tetapi juga dari pertumbuhan nilai investasi sebelumnya. Karena pertumbuhan bersifat non-linear dan bergantung pada banyak faktor seperti return riil dan inflasi, metode numerik Runge-Kutta Orde 4 digunakan untuk menyelesaikan model pertumbuhan tersebut secara akurat.

II. STUDI LITERATUR

A. Konsep 4% rule

Aturan 4% atau dikenal dengan “4% rule” merupakan pendekatan populer dalam perencanaan pensiun. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh William Bengen pada tahun 1994 dan diperkuat oleh studi Trinity pada akhir 1990-an. Inti dari aturan ini menyatakan bahwa seseorang dapat menarik 4% dari total kekayaannya setiap tahun setelah pensiun tanpa kehabisan uang selama paling tidak 30 tahun.

Konsekuensinya, seseorang yang ingin pensiun harus memiliki aset sebesar 25 kali pengeluaran tahunannya (karena $1 / 0.04 = 25$). Misalnya, jika ingin menghabiskan Rp 120 juta per tahun saat pensiun, maka total aset minimal yang dibutuhkan adalah Rp 3 miliar. Aturan ini mengasumsikan portofolio investasi yang seimbang (saham dan obligasi) serta stabilitas return historis terhadap inflasi.

B. Konsep Metode Runge-Kutta Orde 4 (RK4)

Metode Runge-Kutta Orde 4 (RK4) adalah salah satu teknik numerik paling populer untuk menyelesaikan persamaan diferensial biasa (ODE) secara eksplisit. RK4 menghitung nilai solusi di titik berikutnya dengan mengambil rata-rata tertimbang dari empat estimasi kemiringan (gradien) pada interval waktu yang sama, yang dihitung di awal, tengah, dan akhir langkah tersebut. Dengan pendekatan ini, RK4 menghasilkan akurasi tinggi tanpa memerlukan evaluasi turunan tingkat lanjut seperti pada metode Taylor.

Karena kestabilannya, RK4 sangat efektif digunakan dalam simulasi jangka panjang, seperti perhitungan pertumbuhan aset dalam konteks perencanaan keuangan atau dinamika sistem lainnya. Dalam metode RK4, satu langkah solusi diperoleh dengan menghitung rata-rata tertimbang dari empat kemiringan (gradien) pada interval waktu tertentu. Rumusnya adalah:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)h$$

Dengan:

$$k_1 = f(x_i, y_i)$$

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_1h\right)$$

$$k_3 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_2h\right)$$

$$k_4 = f(x_i + h, y_i + k_3h)$$

III. PENJELASAN DATA YANG DIGUNAKAN

Dalam program simulasi ini, data yang digunakan mencakup input dari pengguna berupa usia saat ini, gaji tahunan awal, persentase tabungan dari gaji, aset awal yang sudah dimiliki, dan target pengeluaran tahunan yang diinginkan saat mencapai kebebasan finansial. Berdasarkan input tersebut, sistem menghitung target kekayaan yang dibutuhkan dengan menggunakan aturan 4%, yaitu 25 kali dari pengeluaran tahunan yang ditargetkan. Di luar data masukan tersebut, digunakan asumsi tetap yaitu inflasi tahunan sebesar 3% dan return investasi nominal sebesar 7%. Berdasarkan kedua asumsi ini, return riil dihitung dengan rumus $\frac{1+return}{1+inflasi} - 1$, yang menghasilkan nilai sekitar 3,88% per tahun. Data ini digunakan untuk memodelkan pertumbuhan kekayaan secara tahunan dalam perhitungan numerik.

Simulasi mengambil data input berikut:

- Usia saat ini: digunakan untuk menghitung umur dari pengguna saat memulai simulasi
- Gaji tahunan awal: gaji total per tahun sebelum dimasukkan ke data perhitungan
- Persentase tabungan: menentukan besar porsi dana yang diinvestasikan dengan perhitungan presentase yang ingin ditabung \times gaji tahunan
- Aset awal: total kekayaan yang sudah dimiliki saat ini
- Target pengeluaran tahunan saat pensiun: digunakan untuk menentukan target kekayaan
- Target kekayaan pensiun: dihitung sebagai $25 \times$ target pengeluaran tahunan saat pensiun

Asumsi tetap:

- Inflasi: 3% per tahun (Rata-rata inflasi di Indonesia dalam 10 tahun terakhir (2015-2024) adalah sekitar 2,907% per tahun)
- Return investasi nominal: 7% per tahun (rata-rata imbal hasil obligasi pemerintahan Indonesia 10 tahun terakhir sekitar 6,75%)

IV. PENJELASAN METODE YANG DIGUNAKAN

Metode numerik yang digunakan dalam simulasi ini adalah Runge-Kutta Orde 4 (RK4), yang diterapkan untuk menyelesaikan persamaan diferensial biasa yang menggambarkan perubahan total kekayaan setiap tahun. Model matematis yang digunakan adalah:

$$\frac{dW}{dt} = s \times G(t) + r \times W(t)$$

Dengan:

- $W(t)$: kekayaan pada tahun ke- t
- s : rasio tabungan dari gaji
- $G(t)$: gaji tahunan, naik sesuai inflasi
- r : return investasi riil tahunan

Untuk menyelesaikan ODE ini, digunakan metode Runge-Kutta Orde 4 (RK4) dengan formulasi berikut:

$$k1 = h * f(Wn)$$

$$k2 = h * f(Wn + 0.5 * k1)$$

$$k3 = h * f(Wn + 0.5 * k2)$$

$$k4 = h * f(Wn + k3)$$

$$Wn + 1 = Wn + \frac{1}{6}(k1 + (2 * k2) + (2 * k3) + k4)$$

Setiap tahun, gaji dan pengeluaran akan meningkat karena inflasi, tetapi return investasi juga menghasilkan bunga majemuk terhadap aset yang sudah ada. RK4 diterapkan untuk menghitung aset tahunan berdasarkan persamaan ini. Simulasi dilakukan sampai total aset mencapai 25 kali pengeluaran tahunan yang ditargetkan saat pensiun.

Pertumbuhan kekayaan dihitung berdasarkan kontribusi tabungan tahunan dan hasil investasi yang diperoleh setiap tahun. Salah satu karakteristik penting dari model ini adalah penggunaan bunga majemuk (compound interest), yang memungkinkan nilai kekayaan bertumbuh lebih cepat karena return tahunan juga dihitung dari akumulasi kekayaan sebelumnya. RK4 dipilih karena memberikan hasil stabil dan presisi tinggi, khususnya dalam perencanaan jangka panjang seperti simulasi pensiun.

V. DISKUSI DAN ANALISA HASIL EXPERIMEN

Untuk Eksperimen dengan metode numerik ini untuk mendapatkan simulasi mencapai dana pension dengan asumsi gaji tetap setiap tahunnya dengan parameter input yang digunakan:

- Umur saat ini: 23 tahun
- Gaji tahunan awal: Rp 120.000.000
- Saving rate: 50% (Rp 5.000.000/bulan)
- Aset awal: Rp 15.000.000
- Target pengeluaran tahunan saat tingkat (financial freedom): Rp 48.000.000
- Target kekayaan: $25 \times 48.000.000 = \text{Rp } 1.200.000.000$

Tabel Hasil Simulasi

Tahun	Umur	Asset	Target
0	23	15000000	12000000000
1	24	76774259.77	12000000000
2	25	142830119.6	12000000000
3	26	213392188.4	12000000000
4	27	288695621	12000000000
5	28	368986585.7	12000000000
6	29	454522751.3	12000000000
7	30	545573794.9	12000000000
8	31	642421931.7	12000000000
9	32	745362467.4	12000000000
10	33	854704373.8	12000000000
11	34	970770889.2	12000000000
12	35	1093900144	12000000000
13	36	1224445815	12000000000
14	37	1362777802	12000000000
15	38	1509282941	12000000000
16	39	1664365739	12000000000
17	40	1828449149	12000000000
18	41	2001975371	12000000000
19	42	2185406687	12000000000
20	43	2379226340	12000000000
21	44	2583939433	12000000000
22	45	2800073889	12000000000
23	46	3028181427	12000000000
24	47	3268838602	12000000000
25	48	3522647870	12000000000
26	49	3790238709	12000000000
27	50	4072268783	12000000000
28	51	4369425160	12000000000
29	52	4682425570	12000000000
30	53	5012019728	12000000000
31	54	5358990708	12000000000
32	55	5724156368	12000000000
33	56	6108370850	12000000000

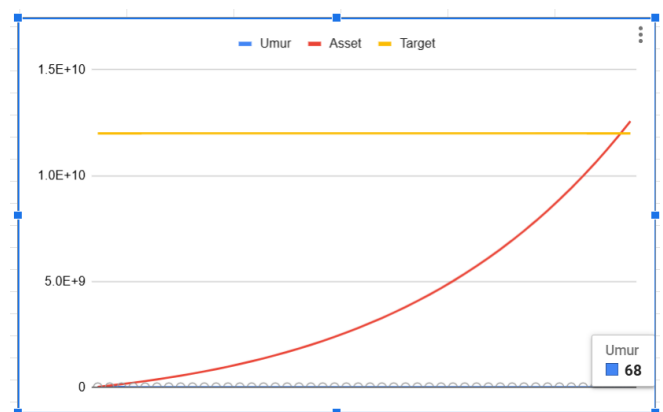
34	57	6512526125	12000000000
35	58	6937553616	12000000000
36	59	7384425883	12000000000
37	60	7854158380	12000000000
38	61	8347811284	12000000000
39	62	8866491402	12000000000
40	63	9411354157	12000000000
41	64	9983605657	12000000000
42	65	10584504849	12000000000
43	66	11215365765	12000000000
44	67	11877559860	12000000000
45	68	12572518446	12000000000

>>> Target asset tercapai di tahun ke-45 (umur 68) dengan aset Rp 12572518445.85

Berdasarkan input tersebut, simulasi menunjukkan bahwa pertumbuhan 3 ingk meningkat secara eksponensial seiring berjalannya waktu. Ini disebabkan oleh kombinasi:

- Tabungan tahunan yang besar (50% dari gaji)
- Return investasi riil positif ($\pm 3.88\%$)
- Efek akumulasi dari bunga majemuk (compound interest)

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kekayaan atau asset yang dimiliki akan mencapai target 3 ingkat sebesar Rp 1,2 miliar dalam jangka waktu yang 3 ingkat 3 cepat, meskipun gaji awal sangat kecil. Hal ini disebabkan karena pengeluaran tahunan yang ditargetkan cukup rendah, dan 3 ingkat menabung sangat tinggi (setengah dari penghasilan).



Grafik.1

Grafik menunjukkan tiga kurva:

- Kurva Biru (Umur): Garis horizontal yang merepresentasikan usia tiap tahun simulasi, digunakan sebagai sumbu x.
- Kurva Merah (Aset): Menunjukkan pertumbuhan aset dari tahun ke tahun. Kurva ini berbentuk

ekponensial, hal ini disebabkan karena adanya efek bunga majemuk. Meskipun awalnya lambat, pertumbuhan kekayaan meningkat tajam setelah beberapa tahun berjalan ini bergantung dengan seberapa banyak aset yang dimiliki pada tahun itu.

- Kurva Kuning (Target) – Garis datar yang merepresentasikan target dana pensiun yaitu Rp 1,2 miliar. Tidak berubah dari waktu ke waktu karena diasumsikan target pengeluaran tidak berubah secara inflasi.

Titik pertemuan antara kurva merah dan kuning menunjukkan momen di mana aset yang dimiliki telah mencapai atau melampaui target aset atau kekayaan yang diinginkan. Setelah titik ini, seseorang secara teori sudah bisa pensiun, karena aset yang dimiliki cukup untuk membiayai pengeluaran tahunannya secara berkelanjutan dengan mengambil 4% per tahunnya dari investasi.

VI. KESIMPULAN

Perencanaan pensiun berbasis simulasi numerik dengan metode Runge-Kutta Orde 4 (RK4) memberikan pendekatan yang efektif dan realistis dalam memperkirakan waktu pencapaian kebebasan finansial. Dengan mempertimbangkan inflasi, return investasi riil, serta proporsi tabungan dari penghasilan tahunan, model ini mampu memproyeksikan pertumbuhan kekayaan secara

bertahap namun signifikan. Efek bunga majemuk menjadi faktor penting yang mempercepat akumulasi aset, terutama ketika tingkat menabung cukup tinggi dan target pengeluaran pensiun tergolong moderat.

Simulasi menunjukkan bahwa, meski dengan gaji awal yang tidak terlalu besar, seseorang tetap dapat mencapai target dana pensiun dalam jangka waktu yang wajar apabila konsisten menabung setengah dari penghasilan. Penggunaan metode RK4 memberikan hasil yang stabil dan mendekati kondisi riil, sehingga sangat cocok digunakan dalam perencanaan keuangan jangka panjang. Model ini bisa menjadi alat bantu bagi individu dalam menyusun strategi pensiun yang rasional dan terukur tanpa bergantung pada jasa perencana keuangan profesional.

REFERENCES

- [1] S. C. Chapra and R. P. Canale, *Numerical Methods for Engineers*, 7th ed., New York: McGraw-Hill, 2015.
- [2] Indonesia - Tingkat Inflasi,” Tradingeconomics.com, 2019. <https://id.tradingeconomics.com/indonesia/inflation-cpi>
- [3] Trading Economics, “Indonesia Government Bond 10Y | 2003-2020 Data | 2021-2022 Forecast | Quote | Chart,” tradingeconomics.com, 2025. <https://tradingeconomics.com/indonesia/government-bond-yield>
- [4] J. Scott, W. Sharpe, and J. Watson, “The 4% Rule-At What Price?,” 2008. Available: <https://web.stanford.edu/~wfs Sharpe/retecon/4percent.pdf>