

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Identifikasi Masalah

Pembentukan Portofolio optimal adalah suatu masalah yang melibatkan pemilihan kombinasi optimal dari aset-aset investasi yang tersedia untuk mencapai tujuan tertentu, seperti memaksimalkan tingkat pengembalian atau mengurangi risiko. Masalah ini menjadi penting bagi para investor, baik individu maupun institusi yang ingin mengalokasikan dan mengelola dana mereka dengan cara yang paling efisien dan menguntungkan. Penelitian ini akan menggunakan 30 data historis saham mingguan yang telah diseleksi berdasarkan keaktifannya yang akan dihitung seberapa besar alokasi dana yang diberikan untuk membuat portofolio optimal menggunakan *Bat Algorithm*. Dalam penelitian ini, portofolio yang optimal adalah portofolio yang memaksimalkan *return* sekaligus meminimumkan risiko.

3.2 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yaitu data pergerakan harga saham yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia (BEI), khususnya yang merupakan bagian dari indeks IDX 30. Indeks IDX 30 terdiri dari 30 saham yang memiliki likuiditas tinggi dan kapitalisasi pasar besar, serta didukung oleh fundamental perusahaan yang kuat. Objek penelitian yang digunakan adalah harga saham mingguan dari periode November 2023 – November 2024 yang diperoleh dari finance.yahoo.com.

3.3 Model Multi-Objektif Mean-Varians

Dalam penelitian ini akan digunakan model optimasi yang didasarkan pada model *mean-variance*. Model ini memiliki dua tujuan, yaitu memaksimalkan *return* dan meminimalkan risiko portofolio. Berikut adalah model matematis yang digunakan:

Dalam formulasi *multi-objective*, fungsi tujuan pertama adalah memaksimalkan *return* portofolio, yang dapat dinyatakan dengan:

$$\text{Memaksimumkan : } E(R) = \sum_{i=1}^n E(R_i)x_i \quad (3.1)$$

Fungsi tujuan kedua adalah meminimalkan risiko portofolio, yang didapat dengan :

$$\text{Meminimumkan : } V = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \sigma_{ik} x_i x_k \quad (3.2)$$

Kendala dalam model ini adalah bahwa bobot investasi untuk semua aset jika dijumlahkan hasilnya 1, yang dapat dinyatakan sebagai:

$$\text{Kendala : } \sum_{i=1}^n x_i = 1 \quad (3.3)$$

Total alokasi modal harus sama dengan 1, yang menggambarkan bahwa seluruh modal investor dialokasikan.

x_i : Alokasi modal (bobot) untuk saham ke- i dalam portofolio, di mana $i = 1, 2, \dots, n$: n adalah jumlah saham dalam portofolio

Batasan :

$$0,01 \leq x_i \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

di mana 0,01 dan 1 adalah parameter yang mengatur batas minimum (0,01) dan maksimum (1) untuk bobot investasi saham i .

Dengan pendekatan *Weighted Sum*, fungsi tujuan gabungan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

Meminimumkan:

$$f(x): w \left[\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \sigma_{ik} x_i x_k \right] - (1 - w) \left[\sum_{i=1}^n E(R_i)x_i \right] \quad (3.4)$$

3.4 Penyelesaian Model dengan *Bat Algorithm*

Pada penelitian ini, akan dilakukan pengoptimasian untuk mendapatkan portofolio saham yang optimal berdasarkan model (3.4) menggunakan *Bat Algorithm*. Terdapat beberapa tahapan dalam melakukan optimasi portofolio dengan menggunakan *Bat Algorithm*.

1. Menghitung nilai *return* rata-rata ($E(R_i)$) dan matriks kovarians (σ_{ik}) saham menggunakan Model Markowitz;

Setelah data nilai *return* saham diperoleh, nilai *return* rata-rata akan dihitung menggunakan persamaan (2.2). Selain itu matriks kovarians akan dihitung menggunakan persamaan (2.6). Saham yang dimasukkan ke dalam portofolio adalah saham yang memiliki nilai *return* rata-rata positif. Hal ini dikarenakan memasukkan saham dengan nilai *return* rata-rata negatif dapat menyebabkan kerugian dan mengakibatkan portofolio menjadi tidak optimal.

2. Inisialisasi Parameter

Pada tahap ini, akan ditentukan beberapa parameter untuk menjalankan *Bat Algorithm* sebagai berikut.

a. Pemilihan Iterasi (IN)

Parameter ini menentukan berapa kali sekelompok akan berpindah posisi dalam mencari solusi.

b. Populasi Kelelawar (SN)

Parameter ini menentukan banyaknya kelelawar dalam satu kelompok. Dalam optimasi portofolio, kelelawar menggambarkan sebuah portofolio dan posisi kelelawar menggambarkan bobot tiap saham yang termasuk ke dalam portofolio tersebut. Misalkan kelelawar adalah x_a dimana a merupakan indeks unik untuk setiap kelelawar. Sehingga, $SN = [x_1, x_2, \dots, x_n]$, $n \in \mathbb{N}, 1 \leq n \leq$ jumlah saham

c. Kecepatan (v_i)

Parameter ini menentukan bagaimana posisi kelelawar diperbarui dari iterasi ke iterasi

d. Laju Gelombang (r_i)

Parameter ini mengontrol eksplorasi dan eksploitasi kelelawar dalam mencari solusi. Pada awal iterasi, r_i cenderung kecil untuk mendukung eksplorasi area solusi yang luas. Saat iterasi berlangsung dan solusi mendekati optimal, r_i meningkat untuk fokus pada solusi terbaik di sekitar.

e. Kebisingan (A_i)

Parameter ini mengontrol intensitas pergerakan kelelawar. Pada awal iterasi, A_i bernilai besar, yang memungkinkan kelelawar melakukan perubahan besar dalam pencarian solusi. Saat iterasi berlangsung, A_i mengecil, sehingga kelelawar terfokus pada solusi terbaik yang ditemukan

f. Bobot Kepentingan Relatif Fungsi Tujuan (w)

Parameter ini menentukan bobot untuk relatif pentingnya fungsi tujuan. Pemberian bobot ini memungkinkan penyesuaian tingkat kepentingan relatif antara *expected return* dan risiko portofolio dalam proses optimasi.

3. Pembangkitan Posisi Acak Kelelawar

Selanjutnya dilakukan pembangkitan posisi acak untuk tiap populasi kelelawar (SN) dengan menggunakan

$$x_i^j = lb_j + rand(0,1) * (ub_j - lb_j) \quad (3.5)$$

Keterangan:

x_i^j : bobot aset portofolio-i ke-j

lb_j : batas bawah bobot aset ke-j

ub_j : batas atas bobot aset ke-j

$rand(0,1)$: angka acak yang terdistribusi dari 0 hingga 1

Setelah menghasilkan solusi awal, terapkan langkah-langkah modifikasi untuk memastikan bahwa setiap nilai bobot aset berada dalam cakupan $[lb_j, ub_j]$

$$x_i^j = \min(\max(x_i^j, lb_j), ub_j) \quad (3.6)$$

Hitung total bobot untuk setiap aset-i dan normalisasi setiap bobot aset sesuai dengan total bobot

$$\chi = \sum x_i^j, \text{ kemudian } x_i^j = \frac{x_i^j}{\chi} \quad (3.7)$$

Hal ini memastikan pemenuhan kendala $\sum_{i=1}^n x_i = 1$.

4. Menghitung Nilai *fitness*

Setiap kelelawar akan dihitung nilai *expected return* dan risiko.

Perhitungan nilai *fitness* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$fitness = f(x) = w \left[\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \sigma_{ik} x_i x_k \right] - (1 - w) \left[\sum_{i=1}^n E(R_i) x_i \right] \quad (3.8)$$

5. Perbarui Solusi

Setiap kelelawar mencari solusi baru dengan berpindah posisi dengan menggunakan persamaan (2.13). Jarak perpindahan kelelawar didapat dari persamaan (2.12).

6. Menghitung Nilai *Fitness*

Setelah melakukan perpindahan posisi, setiap kelelawar akan dihitung kembali nilai *expected return* dan risiko. Setelah itu, akan dilakukan perhitungan nilai *fitness* dari setiap kelelawar.

7. Eksplorasi Solusi

Setiap kelelawar yang memiliki nilai laju gelombang lebih kecil dari nilai acak pada rentang $[0,1]$ akan melakukan eksplorasi solusi dengan menggunakan persamaan (2.14).

8. Penerimaan atau Penolakan Solusi

Selanjutnya akan dilakukan pertimbangan mengenai diterima atau ditolaknya solusi yang didapatkan sesuai dengan yang sudah dijelaskan pada bab 2. Jika solusi diterima, maka dilakukan pembaruan laju gelombang dan kebisingan dengan menggunakan persamaan (2.15) dan (2.16).

9. Pengulangan dan Pemberhentian Iterasi

Lakukan pengulangan iterasi dari tahap 5 hingga kriteria berhenti terpenuhi. Algoritma akan berhenti setelah mencapai jumlah iterasi yang ditentukan.

10. Pemilihan Solusi Terbaik

Setelah semua iterasi selesai, portofolio terbaik yang ditemukan selama proses *Bat Algorithm* dianggap sebagai solusi optimal. Portofolio terbaik didapat dari kelelawar dengan nilai *fitness* terbaik

3.5 Contoh Implementasi

Algoritma ini dijalankan dengan sejumlah iterasi sebagai batas pengerjaan pada algoritma ini. Setiap iterasinya akan menghasilkan solusi terbaik.

Implementasi dari *Bat Algorithm* akan ditunjukkan dengan contoh kasus sebagai berikut. Data empat saham yang digunakan disajikan pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Data Empat Sampel Saham

INAF	BRIS	KAEF	SMBR
835	1335	1050	408
820	1520	1055	401
850	1680	925	418
790	1730	950	405
845	1740	1070	410

Sebelum penggunaan *Bat Algorithm*, dicari nilai nilai yang dibutuhkan untuk menjalankan *Bat Algorithm*. Data *return* empat saham disajikan pada tabel 3.2

Tabel 3.2 *Return* Empat Saham

RETURN			
INAF	BRIS	KAEF	SMBR
-0,01796	0,13858	0,00476	-0,01716
0,03659	0,10526	-0,12322	0,04239
-0,07059	0,02976	0,02703	-0,03110
0,06962	0,00578	0,12632	0,01235

Setelah didapatkan nilai *return* dari masing-masing saham, dihitung nilai *return* rata-rata dengan menggunakan persamaan (2.2). Jika ada saham yang memiliki nilai *return* rata-rata negatif, maka saham tersebut tidak dimasukkan ke dalam portofolio. Didapatkan nilai *return* rata-rata dari empat sampel saham yang ditampilkan pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Rata-rata *return* Empat Saham

RATA-RATA			
INAF	BRIS	KAEF	SMBR
0,00441	0,06985	0,00872	0,00162

Setelah didapatkan nilai *return* rata-rata dan dipilih saham yang dimasukan ke dalam portofolio, dihitung matriks kovarians dengan menggunakan persamaan (2.6). Didapatkan matriks kovarians dari empat sampel saham yang ditampilkan pada Tabel 3.4

Tabel 3.4 Matriks Kovarians Empat Saham

MATRIKS KOVARIANS				
	INAF	BRIS	KAEF	SMBR
INAF	0,00380432	-0,0003924	0,00053468	0,00122136
BRIS	-0,0003924	0,00389648	-0,0033032	0,00019449
KAEF	0,00053468	-0,0033032	0,01052949	-0,0011608
SMBR	0,00122136	0,00019449	-0,0011608	0,00106692

Selanjutnya adalah memulai tahapan *Bat Algorithm* sebagai berikut.

1. Inisialisasi Parameter

Ditentukan inisialisasi parameter untuk contoh kasus sebagai berikut:

- IN = 1 (Maksimum iterasi)
- SN = 5 (Populasi kelelawar)
- $v_i = 0$ (Kecepatan kelelawar)
- $r_i = 0,05$ (Laju gelombang)
- $A_i = 0,9$ (Kebisingan)
- $w = 0,5$ (Bobot kepentingan fungsi tujuan)

2. Bangkitkan posisi acak kelelawar

Selanjutnya dilakukan pembangkitan posisi acak kelelawar untuk tiap kelelawar dengan jumlah SN

Tabel 3.5 Inisialisasi populasi kelelawar

	INAF	BRIS	KAEF	SMBR
kelelawar 1	0,14175	0,055947	0,33067	0,471633
kelelawar 2	0,226276	0,242239	0,288305	0,243179
kelelawar 3	0,142747	0,193167	0,56985	0,094236
kelelawar 4	0,319503	0,029739	0,319556	0,331203
kelelawar 5	0,289266	0,342818	0,326294	0,041622

3. Perhitung nilai *Fitness* awal

Perhitungan *fitness* akan dilakukan menggunakan persamaan (3.8)

Didapatkan nilai *fitness* sebagai berikut.

Kelelawar 1 = -0,003485361

Kelelawar 2 = -0,009952283

Sufyan Fahmi Ramadhan, 2025

PENYELESAIAN MASALAH OPTIMISASI DENGAN MODEL MARKOWITZ DAN BAT ALGORITHM

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Kelelawar 3 = -0,008169447

Kelelawar 4 = -0,002585517

Kelelawar 5 = -0,013473568

Dipilih kelelawar dengan nilai *fitness* terendah, yaitu kelelawar 5 dengan nilai *fitness* -0,013473568 sebagai solusi terbaik sementara.

4. Pebarui solusi

Selanjutnya dilakukan pembaruan kecepatan dan solusi dengan menggunakan persamaan (2.12) dan (2.13). Didapatkan hasil perhitungan pembaruan kecepatan dan solusi yang disajikan pada Tabel 3.6 dan 3.7

Tabel 3. 6 Kecepatan Kelelawar Baru

	INAF	BRIS	KAEF	SMBR
Kelelawar 1	0,34077	0,62358	0,31878	0,12063
Kelelawar 2	0,60490	0,22691	0,12307	0,60125
Kelelawar 3	0,07695	0,90521	0,67417	0,81326
Kelelawar 4	0,81357	0,97977	0,44988	0,67677
Kelelawar 5	0,36154	0,01019	0,84600	0,16575

Tabel 3. 7 Solusi Baru

	INAF	BRIS	KAEF	SMBR
Kelelawar 1	0,20074	0,28269	0,27018	0,24639
Kelelawar 2	0,32517	0,18354	0,16094	0,33035
Kelelawar 3	0,06332	0,31657	0,35855	0,26156
Kelelawar 4	0,28905	0,25753	0,19629	0,25714
Kelelawar 5	0,27305	0,14811	0,49184	0,08701

5. Menghitung nilai *fitness* baru

Didapat nilai *fitness* sebagai berikut:

Kelelawar 1 = -0,011292911

Kelelawar 2 = -0,007647031

Kelelawar 3 = -0,012497616

Kelelawar 4 = -0,010290198

Kelelawar 5 = -0,006730543

6. Eksplorasi solusi

Selanjutnya akan dilakukan pembaruan eksplorasi solusi menggunakan persamaan (2.14). Jika solusi baru memiliki nilai *fitness* yang lebih rendah dari solusi sebelumnya, maka solusi akan diperbarui. Sedangkan jika solusi baru tidak memiliki nilai *fitness* yang lebih rendah dari solusi sebelumnya,

Sufyan Fahmi Ramadhan, 2025

PENYELESAIAN MASALAH OPTIMISASI DENGAN MODEL MARKOWITZ DAN BAT ALGORITHM

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

maka solusi tidak akan diperbarui. Sehingga didapatkan nilai dari masing-masing kelelawar yang disajikan pada Tabel 3.8

Tabel 3. 8 Eksplorasi Solusi

	INAF	BRIS	KAEF	SMBR
Kelelawar 1	0,24878	0,31877	0,22205	0,21041
Kelelawar 2	0,27826	0,22501	0,21651	0,28021
Kelelawar 3	0,06332	0,31657	0,35855	0,26156
Kelelawar 4	0,28905	0,25753	0,19629	0,25714
Kelelawar 5	0,25677	0,22009	0,32100	0,20215

7. Penerimaan atau Penolakan solusi

Karena $(rand < A)$ dan $f(x_1) < f(x^*)$ tidak terpenuhi untuk semua kelelawar, maka solusi ditolak. Tidak ada perubahan laju gelombang dan kebisingan pada iterasi selanjutnya. Lakukan pembaruan solusi hingga maksimum iterasi terpenuhi

8. Pemilihan Solusi Terbaik

Setelah maksimum iterasi terpenuhi, dilakukan pemilihan terbaik dengan memilih kelelawar dengan nilai *fitness* terendah. Dalam kasus ini, nilai *fitness* terendah terdapat pada Kelelawar 5 dengan nilai *fitness* = -0,013473568 dengan bobot sebagai berikut:

Tabel 3. 9 Bobot Portofolio Optimal

INAF	BRIS	KAEF	SMBR
0,28927	0,34282	0,32629	0,04162

Dengan bobot yang diperoleh, didapatkan nilai *expected return* = 0,02813384 dan nilai risiko = 0,0011867

3.6 Validasi

Perhitungan dan implementasi *Bat Algorithm* secara manual membutuhkan waktu yang lama. Oleh karena itu, untuk mempercepat perhitungan dan implementasi, pada penelitian ini dibuat program dengan menggunakan *Python*.

Pemilihan *Python* sebagai bahasa pemrograman karena kemudahan implementasinya.

Untuk mengukur kualitas program yang dibuat, dilakukan validasi dengan menggunakan fungsi *benchmark*. Validasi pada penelitian ini akan dilakukan menggunakan dua fungsi *benchmark*, yaitu fungsi *sphere* dan fungsi *rosenbrock*. Kedua fungsi tersebut berguna untuk menilai performa dari program yang akan dipakai. Pemilihan kedua fungsi ini didasarkan pada kemampuannya untuk memberikan tantangan serta mencakup kriteria evaluasi yang relevan terhadap optimasi portofolio.

3.7 Penarikan Kesimpulan

Penarikan kesimpulan akan dilakukan berdasarkan hasil implementasi.