

# PEWARNAAN SIMPUL UNTUK SELEKSI ASET PADA PEMBENTUKAN PORTOFOLIO INVESTASI SAHAM

\*D. Prastiwi<sup>1</sup> dan F. Septyanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer, Universitas Pertahanan, Kawasan IPSC Sentul, Bogor.  
[diah.prastiwi@idu.ac.id](mailto:diah.prastiwi@idu.ac.id) \*corresponding author

<sup>2</sup>Sekolah Sains Data, Matematika, dan Informatika, Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti, Kampus IPB Dramaga Bogor.  
[fendy-se@apps.ipb.ac.id](mailto:fendy-se@apps.ipb.ac.id)

## Abstrak

Dalam membentuk portofolio investasi biasanya terdapat tahap seleksi dan alokasi/pembobotan. Seleksi aset kerap dilakukan dengan melihat kinerja dari aset tersebut. Dalam penelitian ini, seleksi aset dilakukan dengan menggunakan konsep-konsep teori graf. Konsep dasar yang digunakan adalah *independent set* dan *clique*. Dengan *independent set*, dipilih sekumpulan aset yang berkorelasi rendah sehingga risikonya juga rendah. Dengan *clique*, ditemukan sekumpulan aset yang berkorelasi tinggi sehingga dapat dipilih salah satunya sebagai representasi. Lebih lanjut, digunakan pewarnaan simpul pada graf korelasi untuk menghasilkan partisi aset-aset menjadi beberapa *independent set*, yang masing-masing dapat dibentuk menjadi portofolio terdiversifikasi. Dengan menerapkan pewarnaan simpul pada graf antikorelasi, aset-aset dipartisi menjadi beberapa *clique*, yang masing-masing dapat dipilih satu aset untuk mereplikasi pasar. Dipilih pembobotan sederhana yaitu *equal weight*. Sebagai studi kasus, diambil saham-saham LQ45 tahun 2023. Dihasilkan sebuah portofolio yang terdiversifikasi dengan baik, serta sebuah portofolio yang mampu mereplikasi pasar dengan efisien. Keduanya memiliki *return* lebih tinggi dari *return* bebas risiko sehingga layak diinvestasikan.

**Kata kunci:** *clique*, *independent set*, pewarnaan, portofolio, saham

## 1 Pendahuluan

Ketika akan berinvestasi, seorang investor perlu memutuskan aset-aset mana saja yang akan dipilih (tahap seleksi) serta berapa proporsi/persentase modal yang akan diinvestasikan ke aset-aset pilihannya tersebut (tahap alokasi/pembobotan). Seleksi awal dapat dilakukan dengan melihat kinerja dari aset-aset yang tersedia, misalnya melalui *return* dan risiko. *Return* harian untuk aset ke- $i$  pada hari ke- $t$ , disimbolkan  $R_{it}$ , diukur dari kenaikan harga aset tanpa memperhitungkan dividen sebagai berikut

$$R_{it} = \frac{P_{it} - P_{i(t-1)}}{P_{i(t-1)}}$$

dengan  $P_{it}$  dan  $P_{i(t-1)}$  berturut-turut adalah harga aset ke- $i$  pada hari ke- $t$  dan hari ke- $(t - 1)$ . Risiko diukur dari simpangan baku data *return* selama periode pengamatan. Seringkali aset dengan *return* tinggi memiliki risiko yang tinggi juga. Efisiensi dari aset tersebut dapat diukur dari rasio  $E(R) / \sigma(R)$ . Rasio tersebut dapat dipandang sebagai tingkat *return* yang diharapkan per satuan risiko yang diterima oleh investor.

Salah satu strategi dalam pemilihan aset adalah diversifikasi, berinvestasi pada beberapa jenis aset yang berbeda seperti saham, obligasi, properti, dan lain sebagainya [3]. Diversifikasi juga dapat dicapai dengan jenis aset yang sama tapi dengan tingkat korelasi antaraset yang rendah [8]. Selain diversifikasi, ada juga strategi lain seperti replikasi memilih sebagian aset yang dapat dengan efisien meniru kinerja pasar atau portofolio lain yang lebih besar [4]. Kontribusi penelitian ini adalah membahas metode strategi diversifikasi dan replikasi yang lebih sederhana melalui teori graf.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan teori graf untuk pembentukan portofolio, misalnya [1], [10], [11], [15]. Terminologi teori graf yang digunakan dalam penelitian ini secara garis besar mengikuti [6]. Graf adalah struktur data yang terdiri dari setidaknya dua bagian: simpul dan sisi. Simpul mewakili objek (dalam penelitian ini: aset), sedangkan sisi mewakili hubungan antar objek. Diasumsikan sisinya tidak berarah (*undirected*). Dua simpul yang terhubung oleh sisi disebut bertetangga (*adjacent*). Graf lengkap (*complete graph*) adalah graf yang setiap pasang simpulnya selalu bertetangga. Bobot pada graf adalah informasi tambahan yang dapat disematkan pada simpul maupun sisi. Dalam penelitian ini akan digunakan graf berbobot (*weighted graph*) dan juga graf yang tidak berbobot (*unweighted graph*).

Terdapat beberapa graf yang akan digunakan dalam penelitian ini. Dimulai dengan data *return* harian dari beberapa aset, dibangun graf dasar  $G_1$  yang merupakan graf lengkap berbobot, dengan simpul-simpulnya adalah aset-aset, dan bobot sisi antara dua aset adalah besar korelasi *return* dari dua aset tersebut. Perhitungan korelasi di sini berdasarkan korelasi Pearson. Kemudian, dari graf dasar  $G_1$  akan dihasilkan dua graf baru yang merupakan penyederhanaan dari  $G_1$  sebagai berikut:

1. Graf korelasi  $G_2$  adalah graf berbobot yang diperoleh dari  $G_1$  dengan menghapus semua sisi yang bobotnya di bawah ambang batas. Dalam hal ini ambang batasnya diambil sebagai rata-rata korelasi. Graf  $G_2$  dimaksudkan untuk menampilkan kemiripan antaraset dan akan digunakan untuk strategi diversifikasi.
2. Graf antikorelasi  $G_3$  adalah graf berbobot yang diperoleh dari  $G_1$  dengan menghapus semua sisi yang bobotnya di atas ambang batas (rata-rata korelasi). Graf  $G_3$  dimaksudkan untuk menampilkan ketidakmiripan antaraset dan akan digunakan untuk strategi replikasi.

Graf korelasi dan graf antikorelasi saling berkomplemen, dalam artian bahwa dua simpul yang bertetangga di graf korelasi akan menjadi tidak bertetangga di graf antikorelasi, dan sebaliknya dua simpul yang tidak bertetangga di graf korelasi akan menjadi bertetangga di graf antikorelasi.

Setelah tahap seleksi, tahap berikutnya adalah alokasi/pembobotan. Tahap ini mengalokasikan bobot  $w_i$  kepada aset ke- $i$  untuk setiap  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ , dengan asumsi  $w_1, \dots, w_n \geq 0$  dan  $w_1 + \dots + w_n = 1$ . Asumsi tersebut berarti semua modal yang tersedia diinvestasikan tanpa sisa, serta tidak ada posisi *short*. Jika  $R_i$  adalah peubah acak *return* harian aset ke- $i$ , maka *return* harian portofolio adalah  $R_p = w_1 R_1 + \dots + w_n R_n$ , dengan nilai harapan  $E(R_p) = w_1 E(R_1) + \dots + w_n E(R_n)$  dan risiko portofolio dihitung

sebagai simpangan baku  $\sigma(R_p) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j Cov(R_i, R_j)}$  [13].

Bobot-bobot  $w_1, \dots, w_n$  dapat ditentukan sesuai dengan tujuan pembentukan portofolio.

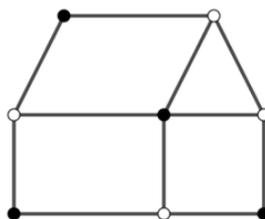
- Pembobotan sama rata (*equal weight*):  $w_1 = w_2 = \dots = w_n = \frac{1}{n}$ . Metode ini cukup sederhana, tapi pada prakteknya kerap lebih unggul daripada metode lain [7], [9].
- Pembobotan invers risiko (*naive risk parity*):  $w_i = \frac{1}{\sigma_i}$  dengan  $\sigma_i$  adalah simpangan baku dari *return* aset ke- $i$  selama periode pengamatan. Metode ini memberikan bobot rendah kepada aset berisiko tinggi, dan sebaliknya memberikan bobot besar kepada aset berisiko rendah [11]. Metode ini disebut “*naive*” karena hanya mempertimbangkan risiko dari masing-masing aset secara individu, mengabaikan hubungan antaraset.
- Model Markowitz: menentukan bobot-bobot yang meminimalkan risiko portofolio dengan tingkat *return* yang diharapkan [14]. Berbeda dari *naive risk parity*, model Markowitz juga memerhitungkan korelasi antaraset.

Sebagai studi kasus, diambil data harga saham harian indeks LQ45 tahun 2023. Dari 45 emiten saham yang tercantum pada indeks tersebut, terdapat 16 saham yang memiliki rata-rata *return* harian positif pada tahun 2023. Untuk pembentukan portofolio, ke-16 saham tersebut akan diseleksi lebih lanjut dengan pewarnaan simpul. Karena penelitian ini berfokus pada tahap seleksi saja, maka untuk tahap alokasi digunakan pembobotan yang sederhana yaitu *equal weight*.

Sebagai pembanding, digunakan rata-rata *BI-Rate* selama tahun 2023 sebesar 0.058125. Ini dianggap sebagai *return* tahunan bebas risiko, seperti menabung/deposito tanpa berinvestasi secara aktif. Karena *return* saham yang digunakan adalah harian, maka *return* tahunan bebas risiko tersebut perlu dikonversi menjadi *return* harian melalui persamaan berikut  $(1 + r_f)^{365} = 1 + 0.058125 = 1.058125$  sehingga diperoleh *return* harian bebas risiko  $r_f = (1.058125)^{\frac{1}{365}} - 1 \approx 0.000155$ . Portofolio yang terbentuk dianggap layak untuk diinvestasikan apabila memiliki *return* harian lebih besar dari  $r_f$ .

## 2 Independent Set dan Clique

Pada sembarang graf, *independent set* adalah sekumpulan simpul yang antara mereka tidak ada sisi sama sekali, atau dengan kata lain setiap pasang simpul di dalamnya tidak bertetangga [6]. Sebagai ilustrasi, gambar berikut menampilkan sebuah graf dengan delapan simpul.

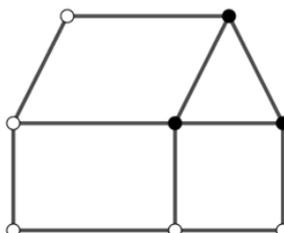


Gambar 1. Simpul-simpul hitam membentuk *independent set*.

Pada gambar di atas, tidak ada sisi antara dua simpul hitam. Jadi, keempat simpul hitam membentuk sebuah *independent set*.

Konsep *independent set* relevan dengan strategi diversifikasi. Dalam graf korelasi  $G_2$ , keberadaan sisi antara dua aset menandakan korelasi tinggi. Namun, dalam sebuah *independent set* tidak ada sisi sama sekali. Jadi, sebuah *independent set* dalam graf  $G_2$  membentuk sekumpulan aset yang berkorelasi rendah.

Selain *independent set*, konsep lain yang juga digunakan dalam penelitian ini adalah *clique*. Pada sembarang graf, *clique* adalah sekumpulan simpul yang setiap pasangannya saling bertetangga [6]. Sebagai ilustrasi, gambar berikut menampilkan sebuah graf dengan delapan simpul.



Gambar 2. Simpul-simpul hitam membentuk *clique*.

Pada gambar di atas, selalu ada sisi antara dua simpul hitam. Jadi, ketiga simpul hitam membentuk sebuah *clique*.

Konsep *clique* relevan dengan strategi replikasi. Dalam graf korelasi  $G_2$ , keberadaan sisi antara dua aset menandakan korelasi tinggi. Jadi, sebuah *clique* dalam graf  $G_2$  membentuk sekumpulan aset yang berkorelasi tinggi. Aset-aset berkorelasi tinggi memiliki *return* yang cenderung bergerak bersamaan (misalnya karena aset-aset tersebut berada pada sektor ekonomi yang sama), sehingga dapat dipilih salah satu aset saja sebagai perwakilan untuk mereplikasi kinerja aset-aset tersebut.

Konsep *clique* dapat dikatakan berkomplemen dengan *independent set*. Sebuah *clique* di graf korelasi akan membentuk *independent set* di graf antikorelasi, dan sebaliknya sebuah *independent set* di graf korelasi akan membentuk *clique* di graf antikorelasi. Oleh karena itu, penafsiran *clique* dan *independent set* pada graf  $G_2$  dan  $G_3$  akan saling berkebalikan. Tabel berikut merangkum perbedaannya.

Tabel 1. *Independent set* dan *clique* pada graf korelasi dan antikorelasi.

	<i>Independent set</i>	<i>Clique</i>
Graf korelasi $G_2$	Aset-aset berkorelasi rendah	Aset-aset berkorelasi tinggi
Graf antikorelasi $G_3$	Aset-aset berkorelasi tinggi	Aset-aset berkorelasi rendah

Karena penafsiran yang saling berkebalikan ini, pada prinsipnya salah satu dari dua konsep tersebut saja sudah cukup untuk strategi diversifikasi maupun replikasi. Namun, kedua-duanya tetap digunakan karena *independent set* lebih mudah dipahami untuk diversifikasi dan *clique* lebih mudah dipahami untuk replikasi.

Ada beberapa cara untuk mencari *independent set* maupun *clique*, misalnya algoritma Luby yang merupakan algoritma paralel berbasis Monte Carlo dan *derandomization* [12], algoritma Bron-Kerbosch yang merupakan algoritma rekursif dengan *backtracking* [5] dan algoritma *Branch and Bound* [2]. Dalam penelitian ini, *independent set* dan *clique* akan dicari dengan pewarnaan simpul.

### 3 Pewarnaan Simpul

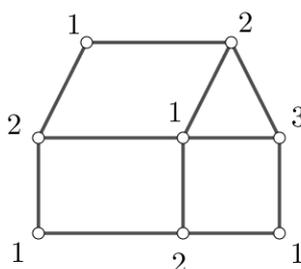
Pada sembarang graf, pewarnaan simpul (*vertex coloring*) adalah pemberian warna/label pada masing-masing simpul sehingga dua simpul yang bertetangga selalu mendapatkan warna berbeda. Agar mudah dibedakan secara visual, warna-warnanya biasanya direpresentasikan sebagai bilangan. Misalkan  $k$  adalah banyaknya warna yang digunakan. Nilai terkecil yang mungkin untuk  $k$  disebut bilangan kromatik (*chromatic number*) dari graf tersebut [6].

Tersedia berbagai algoritma untuk mewarnai graf. Salah satu yang cukup sederhana adalah algoritma *greedy*:

1. Urutkan simpulnya secara sembarang menjadi  $v_1, v_2, \dots, v_n$ .
2. Mulai dari  $v_1$ , warnai simpulnya satu persatu sebagai berikut: simpul  $v_i$  diberi warna terkecil yang belum digunakan oleh tetangga-tetangganya.

Sebagai catatan, algoritma *greedy* belum tentu menghasilkan pewarnaan yang paling efisien: banyaknya warna yang digunakan bisa jadi lebih besar dari bilangan kromatik [6].

Gambar berikut mengilustrasikan sebuah graf dengan delapan simpul, dengan setiap simpulnya diberikan warna (bilangan) oleh algoritma *greedy*.



Gambar 3. Contoh pewarnaan simpul dari algoritma *greedy*.

Pada gambar di atas, dapat diperiksa bahwa dua simpul yang bertetangga selalu memiliki warna (bilangan) yang berbeda. Jadi, pelabelan pada gambar tersebut memenuhi ketentuan pewarnaan simpul.

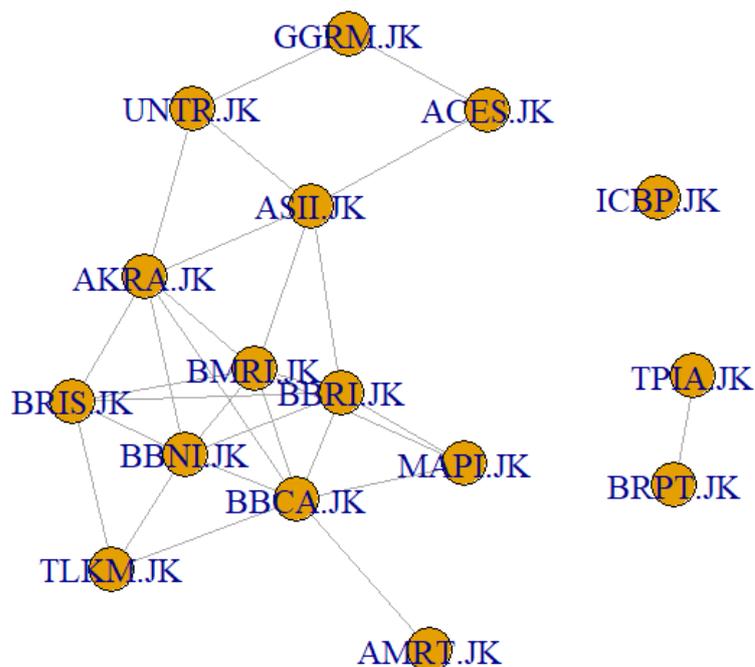
Pada bagian sebelumnya, disebutkan bahwa *independent set* akan dicari melalui pewarnaan simpul. Berikut ini penjelasan mengenai hubungan antara konsep pewarnaan simpul dengan *independent set*.

1. Misalkan suatu graf sudah diberikan pewarnaan simpul.
2. Untuk setiap warna, kumpulkan semua simpul yang mendapatkan warna tersebut ke dalam satu kelas warna (*color class*).
3. Setiap kelas warna adalah *independent set*: dua simpul dalam satu kelas warna memiliki warna yang sama; berdasarkan ketentuan pewarnaan, dua simpul yang bertetangga harus memiliki warna berbeda; jadi, dua simpul dalam satu kelas warna tidak pernah bertetangga.
4. Kelas-kelas warna saling lepas: setiap simpul hanya mendapatkan satu warna, jadi tidak ada irisan antara dua kelas warna yang berbeda.

Dengan kata lain, setelah dilakukan pewarnaan simpul, simpul-simpul graf akan mengalami partisi menjadi beberapa buah *independent set*.

#### 4 Seleksi Aset dari Graf Korelasi

Pada bagian ini diilustrasikan strategi diversifikasi melalui pewarnaan simpul pada graf korelasi. Tujuannya adalah membentuk portofolio yang terdiversifikasi sehingga memiliki risiko rendah. Berikut graf korelasi  $G_2$  yang terdiri dari 16 simpul (saham) dan setiap sisi menandakan korelasi di atas rata-rata yaitu 0.150275.



Gambar 4. Graf korelasi  $G_2$  tanpa menampilkan bobot sisi.

Dari gambar di atas dapat diamati beberapa hal. Contohnya, ICBP merupakan simpul terisolasi, artinya ICBP memiliki korelasi rendah dengan semua emiten lainnya. Kemudian, TPJA dan BRPT bertetangga tapi terisolasi dari simpul-simpul lainnya, artinya ada korelasi tinggi antara dua emiten tersebut tapi keduanya memiliki korelasi rendah dengan 14 simpul lainnya.

Selanjutnya dilakukan pewarnaan simpul terhadap graf korelasi  $G_2$  dengan algoritma *greedy*. Tabel berikut mencatat warna simpul beserta informasi rata-rata *return* harian dan risiko (simpangan baku) dari masing-masing saham.

Tabel 2. Warna simpul beserta rata-rata *return* harian dan risiko tahun 2023.

Emiten	Rata-rata <i>return</i> harian $E(R_i)$	Risiko setahun $\sigma(R_i)$	Warna
ACES	0.001212	0.028697	1
AMRT	0.000127	0.018166	1
BMRI	0.001015	0.014457	1
ICBP	0.000151	0.015625	1
TLKM	0.000268	0.012657	1
TPJA	0.003352	0.024972	1

UNTR	0.000253	0.022419	1
ASII	0.000263	0.014077	2
BBCA	0.000441	0.011152	2
BRPT	0.001744	0.037858	2
BRIS	0.001025	0.023367	2
GGRM	0.000422	0.025367	2
BBRI	0.000852	0.013204	3
AKRA	0.000347	0.020424	3
BBNI	0.000722	0.012795	4
MAPI	0.000589	0.027662	4

Diperoleh empat kelas warna yang merupakan *independent set* di graf korelasi. Setiap kelas warna dibentuk menjadi portofolio tersendiri dengan pembobotan *equal weight*. Tabel berikut menyajikan *return* harian dan risiko dari keempat portofolio.

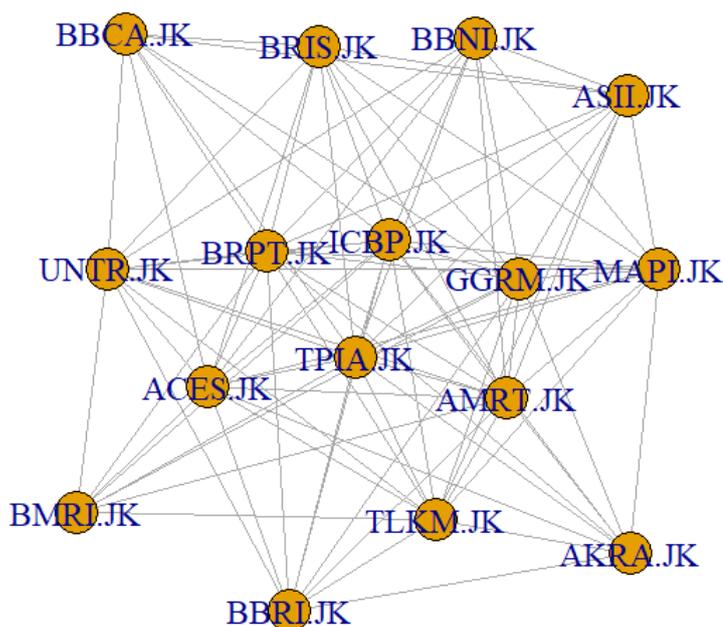
Tabel 3. *Return* harian dan risiko (simpangan baku) setahun untuk portofolio setiap kelas warna dengan pembobotan *equal weight*.

Warna	Emiten	<i>Return</i> harian portofolio $E(R_p)$	Risiko portofolio $\sigma(R_p)$
1	ACE, AMRT, BMRI, ICBP, TLKM, TPIA, UNTR	0.000911	0.0082
2	ASII, BBCA, BRPT, GGRM, BRIS	0.000779	0.0122
3	BBRI, AKRA	0.000600	0.0126
4	BBNI, MAPI	0.000656	0.0159

Sebagai catatan, keempat portofolio di atas memiliki *return* harian yang lebih besar daripada *return* harian bebas risiko yang telah dihitung di Pendahuluan yaitu  $r_f = 0.000155$ . Jadi, keempat-empatnya cukup layak untuk diinvestasikan. Kelas warna 1 memiliki *return* harian yang paling tinggi dan risiko yang paling rendah dibandingkan kelas warna yang lain. Oleh karena itu, dipilih kelas warna 1 sebagai portofolio.

## 5 Seleksi Aset dari Graf Antikorelasi

Pada bagian ini diilustrasikan strategi replikasi melalui pewarnaan simpul pada graf antikorelasi. Tujuannya adalah membentuk portofolio yang hanya terdiri dari sebagian saham saja tapi mampu mereplikasi kinerja dari keseluruhan pasar. Berikut graf antikorelasi  $G_3$  yang terdiri dari 16 simpul (saham) dan setiap sisi menandakan korelasi di bawah rata-rata yaitu 0.150275.

Gambar 5. Graf antikorelasi  $G_3$  tanpa menampilkan bobot sisi.

Kemudian dilakukan pewarnaan simpul terhadap graf antikorelasi  $G_3$  dengan algoritma *greedy*. Tabel berikut mencatat warna simpul beserta informasi rata-rata *return* harian dan risiko (simpangan baku) dari masing-masing saham.

Tabel 4. Warna simpul beserta rata-rata *return* harian dan risiko tahun 2023.

Emiten	Rata-rata <i>return</i> harian $E(R_i)$	Risiko setahun $\sigma(R_i)$	Warna
ICBP	0.000151	0.015625	1
BRPT	0.001744	0.037858	2
TPIA	0.003352	0.024972	2
AMRT	0.000127	0.018166	3
BBKA	0.000441	0.011152	3
ACES	0.001212	0.028697	4
GGRM	0.000422	0.025367	4
BBNI	0.000722	0.012795	5
BRIS	0.001025	0.023367	5
TLKM	0.000268	0.012657	5
BBRI	0.000852	0.013204	6
BMRI	0.001015	0.014457	6
MAPI	0.000589	0.027662	6
ASII	0.000263	0.014077	7
AKRA	0.000347	0.020424	7
UNTR	0.000253	0.022419	7

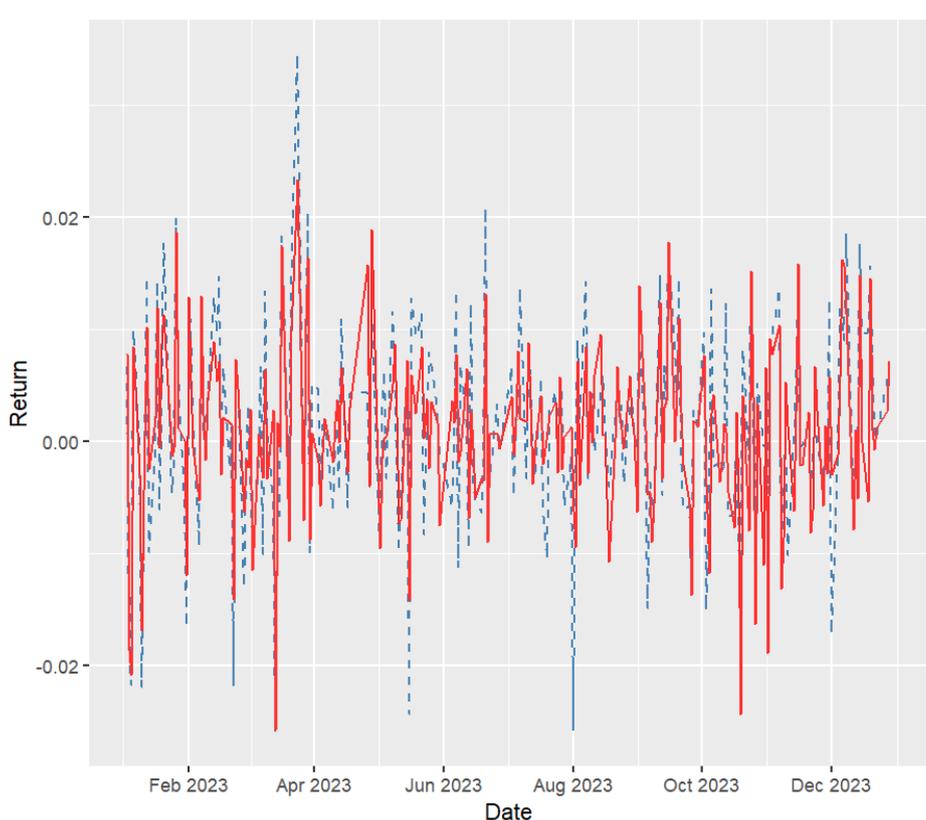
Setiap kelas warna membentuk *independent set* di graf antikorelasi atau dengan kata lain membentuk *clique* di graf korelasi. Artinya, setiap kelas warna adalah sekumpulan aset

yang berkorelasi tinggi. Untuk melakukan replikasi akan dipilih satu saham dari setiap kelas warna. Berikut ini dipilih saham dengan *return* harian tertinggi di setiap kelas warna.

Tabel 5. Saham pilihan di masing-masing kelas warna.

Kelas warna	Emiten	Rata-rata <i>return</i> harian $E(R_i)$	Risiko setahun $\sigma(R_i)$
1	ICBP	0.000151	0.015625
2	TPIA	0.003352	0.024972
3	BBCA	0.000441	0.011152
4	ACES	0.001212	0.028697
5	BRIS	0.001025	0.023367
6	BMRI	0.001015	0.014457
7	AKRA	0.000347	0.020424

Kemudian dibentuk sebuah portofolio yang terdiri dari 7 saham pilihan di atas dengan pembobotan *equal weight*. Kinerja portofolio tersebut dibandingkan dengan keseluruhan pasar yang terdiri dari 16 saham dengan pembobotan *equal weight*. Gambar berikut menunjukkan *return* harian selama tahun 2023.



Gambar 6. *Return* harian portofolio 7 saham (garis putus-putus) dan 16 saham (garis penuh) dengan pembobotan *equal weight*.

Secara visual terlihat bahwa portofolio 7 saham (garis putus-putus) mampu mereplikasi *return* harian 16 saham dengan cukup baik. Ini juga didukung oleh besarnya korelasi antara keduanya yaitu 0.803730. Tabel berikut membandingkan kinerjanya.

Tabel 6. *Return* harian dan risiko setahun dari portofolio 7 saham pilihan dan portofolio 16 saham, dengan pembobotan *equal weight*.

Kelompok	<i>Return</i> harian portofolio	Risiko portofolio	<i>Return</i> per risiko
	$E(R_p)$	$\sigma(R_p)$	$E(R_p) / \sigma(R_p)$
7 saham pilihan	0.001078	0.00897	0.12017
16 saham	0.000799	0.0077	0.1037

Terlihat bahwa portofolio 7 saham memiliki *return* lebih tinggi, tapi risikonya juga sedikit lebih tinggi. Namun, portofolio 7 saham memiliki rasio *return* per risiko yang lebih tinggi, mendukung klaim bahwa portofolio tersebut lebih efisien. *Return* harian portofolio 7 saham tersebut juga lebih tinggi dari *return* harian bebas risiko  $r_f = 0.000155$  yang telah dihitung di Pendahuluan, sehingga layak untuk diinvestasikan.

## 6 Simpulan dan Saran

Pada penelitian ini dibentuk graf korelasi untuk menunjukkan kemiripan antaraset dan graf antikorelasi untuk menunjukkan ketidakmiripan antaraset. Kemudian digunakan pewarnaan simpul untuk menjalankan dua strategi pembentuk portofolio yang berbeda, yaitu diversifikasi aset dan replikasi pasar. Studi kasus dilakukan pada saham-saham LQ45 tahun 2023. Dengan menerapkan pewarnaan simpul pada graf korelasi, diperoleh beberapa kelompok saham berkorelasi rendah, kemudian dipilih kelompok yang memiliki kinerja paling baik dan risiko rendah dengan pembobotan *equal weight*. Dengan menerapkan pewarnaan simpul pada graf antikorelasi, diperoleh beberapa kelompok saham berkorelasi tinggi, kemudian dipilih satu saham dari masing-masing kelompok untuk membentuk portofolio yang mampu mereplikasi kinerja pasar dengan pembobotan *equal weight*. Pewarnaan simpul dapat digunakan untuk jenis aset selain saham, walaupun perlu penyesuaian misalnya pada pengukuran *return*, risiko, dan korelasi.

Pada pewarnaan simpul, bobot sisi diabaikan. Untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan metode seleksi yang lebih memanfaatkan bobot sisi, misalnya dengan metode pohon perentang minimum (*minimum spanning tree* / MST).

Pada penelitian ini digunakan pembobotan *equal weight*, karena metode tersebut dianggap paling sederhana. Untuk penelitian selanjutnya, dapat digunakan metode alokasi/pembobotan lain seperti model Markowitz (meminimalkan risiko), memaksimalkan Sharpe *ratio*, dan sebagainya. Dapat dikembangkan juga metode alokasi/pembobotan yang lebih memanfaatkan struktur graf seperti sentralitas, eksentrisitas, dan *betweenness*.

## Daftar Pustaka

- [1] Aobdia D, Caskey J, Ozel NB. 2014. Inter-industry network structure and the cross-predictability of earnings and stock returns. *Review of Accounting Studies*. 19(3): 1191-1224. doi: <https://doi.org/10.1007/s11142-014-9286-7>
- [2] Balas E, Yu CS. 1986. Finding a maximum clique in an arbitrary graph. *SIAM Journal on Computing*. 15(4): 1054–1068. <https://doi.org/10.1137/0215075>
- [3] Bodie Z, Kane A, Marcus AJ. 2006. *Investments 6th Ed*. New York: McGraw Hill.
- [4] Boekel P, Van Delft L, Hoshino T, Ino R, Reynolds C, Verheugen H. 2009. Replicating porfolios. *Milliman Research Report*.

- [5] Bron C, Kerbosch J. 1973. Algorithm 457: finding all cliques of an undirected graph. *Communications of the ACM*. 16 (9): 575–577, <https://doi.org/doi:10.1145/362342.362367>
- [6] Chartrand G, Zhang P. 2012. *A First Course in Graph Theory*. Mineola, New York: Dover Publications.
- [7] DeMiguel V, Garlappi L, Uppal R. 2009. Optimal versus naive diversification: How inefficient is the 1/N portfolio strategy? *The Review of Financial Studies*. 22(5): 1915–1953. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhm075>
- [8] Fragkiskos A. 2014. What is portfolio diversification? *Social Science Research Network (SSRN)*. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2331475>
- [9] Gelmini M, Uberti P. The equally weighted portfolio still remains a challenging benchmark. *International Economics*. 179. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2024.100525>
- [10] Hidaka R, Hamakawa Y, Nakayama J, Tatsumura K. (2023). Correlation diversified portfolio construction by finding maximum independent set in large scale market graph. *IEEE Access*. 11: 142979–142991. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3341422>
- [11] Jaeger M, Marinellu D. 2022. Network diversification for a robust portfolio allocation. *Social Science Research Network (SSRN)*. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4068889>
- [12] Luby M. 1986. A simple parallel algorithm for the maximal independent set problem. *SIAM Journal on Computing*. 5(4): 1036–1053. <https://doi.org/10.1137/0215074>
- [13] Mangku IW. 2017. *Pengantar Teori Peluang*. Bogor: IPB Press.
- [14] Markowitz H. 1952. Portfolio selection. *Journal of Finance*. 7(1): 77–91.
- [15] Peralta G, Zareei A. 2016. A network approach to portfolio selection. *Social Science Research Network (SSRN)*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2430309>