Optimasi Portofolio Saham dengan Pendekatan *Box Uncertainty Set* Studi Kasus : IDX30

[1]I Gusti Agung Gede Nanda Raditya, [2].Deni Saepudin, [3] Isman Kurniawan

[1,2,3]Fakultas Informatika, Universitas Telkom, Bandung
[1]nandaraditya@students.telkomuniversity.ac.id,
[2]denisaepudin@telkomuniversity.ac.id,
[3]ismankrn@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Optimasi portofolio berkaitan dengan masalah bagiamana menentukan proporsi aset yang ingin diinvestasikan pada saham tertentu diantara sejumlah aset dengan meminimukan resiko untuk level *return* yang ditetapkan. Teori dasar pemilihan aset portofolio yang dikemukakan oleh Markowitz pada tahun 1952 menjelaskan konsep *mean-variance* dimana bobot diperoleh dengan melakukan optimasi terhadap dua parameter yaitu *expected return* dan variansi *return.* Portofolio *mean-variance* mungkin menghasilkan kinerja yang kurang baik karena nilai *expected return* dan variansi *return* diestimasi dari data historis yang mungkin mengandung *error*. Pada tugas akhir ini dilakukan implementasi optimasi portofolio *mean-variance* dimana kedua parameter tersebut dihitung dengan mempertimbangkan adanya ketidakpastian yang dimodelkan dengan *Box Uncertainty Set*. Berdasarkan hasil pengujian dengan pengukuran kinerja *sharpe ratio* dan rata-rata *return* portofolio, diketahui bahwa model yang melibatkan *Box Uncertainty Set* menghasilkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan model yang tidak melibatkan ketidakpastian.

Kata Kunci: Optimasi portofolio, *Box Uncertainty Set*, portofolio *mean-variance*

Abstract

Portfolio optimization is related to the problem of how to determine the proportion of assets to be invested in certain stocks among a number of assets by minimizing the risk for the specified return level. The basic theory of portfolio asset selection by Markowitz in 1952 explained the mean-variance concept where the weight is obtained by optimizing two parameters, the expected return and the variance of return. The mean-variance portfolio may produce poor performance because the value of the expected return and the variance of return is estimated from historical data which may contain errors. In this final project, the implementation of the mean-variance portfolio optimization is carried out in which the two parameters are calculated by considering the uncertainty modeled by the Box Uncertainty Set. Based on the test results with the Sharpe ratio performance measurement and the mean portfolio return, it is known that models under the Box Uncertainty Set produce better performance than models that do not involve uncertainty.

Keywords: portfolio optimization, Box Uncertainty Set, mean-variance portfolio

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Optimasi portofolio berkaitan dengan masalah bagaimana mengalokasikan kekayaan total atau proporsi asset yaitu dana yang diinvestasikan pada saham tertentu di antara sejumlah aset. Teori dasar pemilihan portofolio pertama kali dikemukakan oleh Markowitz pada tahun 1952, yang menjelaskan konsep *mean-variance* dalam alokasi aset dan manajemen portofolio aktif. Pada metode *mean-variance* nilai bobot diperoleh dengan melakukan optimasi terhadap dua parameter yaitu nilai harapan *return* dan variansi *return.*[1] Nilai harapan *return* dan variansi *return* tidak pernah diketahui, biasanya dua parameter tersebut diestimasi berdasarkan data historis. Nilai harapan *return* dan variansi *return* diestimasi berdasarkan data historis maka mungkin masih mengandung *error*, karena nilai estimasi bisa jadi tidak sama dengan nilai yang sebenarnya. Dalam pembentukan model portofolio *mean-variance*, kesalahan estimasi akan mempengaruhi hasil pembentukan portofolio yang optimal.

Kemampuan untuk memprediksi *return* di masa depan berdasarkan data historis adalah tantangan terbesar dalam dunia investasi karena dipengaruhi oleh ketidakpastian (*uncertainty*). Diperlukan suatu metodologi untuk mengembangkan optimasi portofolio yang mempertimbangkan ketidakpastian data dengan mengintegrasikan metode statistik dan pengalaman para ahli untuk memperkirakan *return* di masa depan dengan optimal.[2]

Menyadari betapa pentingnya parameter ketidakpastian dan estimasi error sejumlah pendekatan dilakukan untuk memodifikasi model optimasi Markowitz *mean-variance.* Goldfarb dan Iyengar, (2003) melakukan pemodelan ketidakpastian ke dalam bentuk *box, ellipsoidal, dan polyhedral*. Brodie, (2009) mempertimbangkan masalah pemilihan portofolio Markowitz *mean-variance* yang dirumuskan ulang sebagai sebuah konstrain masalah regresi *least-squares* dengan menambahkan *penalty* pada fungsi objektif untuk jumlah nilai bobot portofolio yang bertujuan menstabilkan masalah optimasi.[3]

Adapun ide yang dilakukan dalam tugas akhir ini yaitu implementasi model untuk mengurangi dampak yang tidak diinginkan dari ketidakpastian parameter dan estimasi *error* dari *mean-variance* Markowitz. Dalam tugas akhir ini dilakukan implementasi penggunaan *Linear Optimization* dalam optimasi portofolio dengan melibatkan *Box Uncertainty Set* pada indeks saham IDX30.

1.2. Topik dan Batasannya

Adapun topik yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah:

a. Bagaimana mengimplementasikan *box uncertainty set* untuk optimasi portofolio yang mempertimbangkan ketidakpastian yang mungkin dalam estimasi parameter pada studi kasus indeks saham IDX30.
b. Bagaimana performansi atau kinerja pada portofolio dengan pendekatan melibatkan *box uncertainty set*.

Batasan pada tugas akhir ini adalah data harga saham mingguan yang terdaftar pada indeks IDX30 dalam rentang waktu 1 Januari 2010 hingga 3 Januari 2020 (10 tahun)

1.3. Tujuan

Berdasarkan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah:

a. Memperoleh portofolio yang mempertimbangkan ketidakpastian dengan melibatkan *box uncertainty set*.

b. Mengetahui kinerja strategi yang optimal dalam portofolio yang melibatkan *box uncertainty set.*

2. Studi Terkait

2.1. Saham

2.1.1. Pengertian Saham

Saham adalah bukti kepemilikan suatu perusahaan yang timbul akibat penanaman modal (investasi) pada penerbit saham. Dengan kepemilikan tersebut, investor berhak atas pendapatan perusahaan berdasarkan jumlah saham yang dimiliki (dividen). Menurut Darmadji dan Fakhruddin (2012:5) saham merupakan tanda penyertaan atau pemilikan seseorang dalam suatu perusahaan yang berwujud selembar kertas yang menandakan bahwa pemilik kertas tersebut adalah pemilik dari perusahaan yang menerbitkan surat berharga.

2.1.2. Return Saham

Menurut Brigham dan Houston (2006: 215) return atau tingkat pengembalian adalah selisih antara jumlah yang diterima dan jumlah yang diinvestasikan, dibagi dengan jumlah yang diinvestasikan. Menghitung *return* dapat dilakukan dengan:

$$R = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} \tag{1}$$

Dimana R merupakan *return,* P_t merupakan harga saham pada saat t, dan P_{t-1} merupakan harga saham saat t-1.

2.1.3. Expected Return Saham

Expected return merupakan pengembalian (*return*) yang diharapkan oleh para investor di masa yang akan datang. *Expected return* dapat dihitung jika peluang *return* diketahui dengan:

$$E(R) = \mu = \sum_{t=1}^{n} R(t).P(Rt) \tag{2}$$

Jika peluang *return* tidak diketahui, expected return dapat diketahui dengan menghitung nilai rata-rata dari *return*, yaitu:

$$\mu \approx \frac{\sum_{t=1}^{n} R(t)}{N} \tag{3}$$

Dimana $R(t)$ adalah *return* saat t dan N menunjukan jumlah *record*

2.2. Portofolio

Menurut Husnan (2003:45), portofolio berarti sekumpulan investasi. Tahap ini menyangkut identifikasi sekuritas-sekuritas mana yang akan dipilih dan berapa proporsi dana yang akan ditanamkan pada masing-masing sekuritas tersebut. Portofolio terdiri dari vektor $\vec{w}_i = [w_1,\ w_2, \ldots, w_n]$

Perhitungan *return* dari portofolio yaitu:

$$R_p = \sum_{i=1}^{n} w_i R_i \tag{4}$$

Dimana w_i merupakan bobot pada saham i dan R_i merupakan return dari saham i.

2.3. Model Portofolio Sparse Mean-Variance

Dalam masalah pemilihan portofolio Markowitz, terdapat dua input yaitu harapan *return* dan *covariance matrix*. Dalam implementasinya, kita dapat menghitung ekspektasi dan matriks kovarians berdasarkan sampel. Dapat dimisalkan $r_t = (r_{1t}, r_{2t}, \dots, r_{nt})^T \in R^n$ menjadi vektor *asset return* pada waktu $t(t = 1, \dots, T)$, $E(r_t) = \mu$ dan $\sum = E[(r_t - \mu)(r_t - \mu)^T]$ menjadi *mean return vector* dan matriks *covariance* dari pengembalian aset, dimana r_{it} adalah pengembalian aset i pada waktu t. Karena $E(r_t) = \mu$ dan $\sum = E[(r_t - \mu)(r_t - \mu)^T]$, diperoleh persamaan

$$w^T \Sigma w = E[|\rho - w^T r_t|^2] = \frac{1}{T} \| \rho e - Rw \|_2^2, \tag{5}$$

Dimana R adalah $T \times n$ matriks yang baris t sama dengan r_t, yaitu, $R_{t,i} = (r_t)_i = r_{i,t}$.

Jika ekspektasi diganti dengan rata-rata sampel, yaitu, $\hat{\mu} = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} r_t$, maka model *mean-variance* dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\begin{aligned} \min_{w \in R^n} \quad & \frac{1}{T} \| \rho e - Rw \|_2^2 \\ s.t. \quad & w^T \hat{\mu} = \rho. \\ & w^T e = 1. \end{aligned} \tag{6}$$

Dimana $\| . \|_2$ adalah L_2 *vector norm*.

(Brodie, 2009) berhasil menerapkan teknik l1-norm pada model *mean-variance* Markowitz untuk mendapatkan persamaan berikut dengan hasil yang stabil.

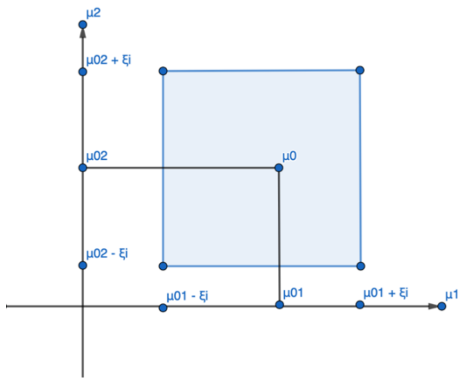
$$\begin{aligned} \min_{w \in R^n} \quad & \| \rho 1_T - Rw \|_2^2 + \tau \ \| w \|_1^1 \\ s.t. \quad & w^T \hat{\mu} = \rho, \\ & w^T 1_n = 1, \end{aligned} \tag{7}$$

Dimana $\hat{\mu} = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} rt$, $\| \rho 1_T - Rw \|_2^2 = \sum_{i=1}^{n} (|\rho 1_T - R_i w_i|^2)$, R didefinisikan sebagai matriks $T \times n$ yang mana baris t sama dengan r_t^T, dan $\| w \|_1^1 = \sum_{i=1}^{n} |w_i|$, dan τ adalah parameter yang memungkinkan untuk menyesuaikan penalisasi L_1 dalam optimasi.

2.4. Box Uncertainty Set

Dimisalkan μ dalam *box uncertainty set* adalah sebagai berikut:

$$U_B = \{\mu : \mu = \mu_0 + \boldsymbol{\xi}, |\boldsymbol{\xi}_i| \le \delta_i, \quad i = 1, \dots, n\} \tag{8}$$



Gambar 1 Ilustrasi 2 Saham *Box Uncertainty Set*

Dimana nilai μ_0 diestimasi dengan $\hat{\mu} = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} r_t$ sebagai μ_0. Kondisi terburuk rata-rata r*eturn* portofolio w diberikan:

$$\min_{\{\mu \in U_B\}} \quad w^T \hat{\mu} = \mu_0^T w - \delta^T |w| \tag{9}$$

Dengan menambahkan vektor bantu α, dapat dituliskan

$$\begin{gathered} \mu_0^T w - \delta^T \alpha = \rho \\ \alpha_i \geq w_i, i = 1, \dots, n \\ \alpha_i \geq -w_i, i = 1, \dots, n \end{gathered} \tag{10}$$

Dengan *box uncertainty set*, portofolio *mean-variance* Markowitz dapat ditulis sebagai:

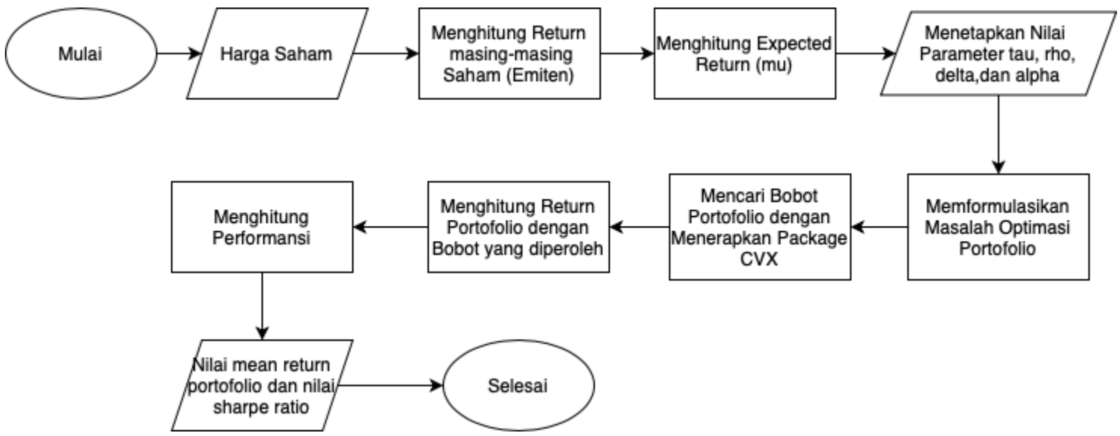
$$\begin{gathered} \min_{w \in R^n} \ ||\rho 1_T - Rw||_2^2 + \tau \, ||w||_1^1 \\ s.t. \quad \mu_0^T w - \delta^T \alpha = \rho, \\ \alpha_i \geq w_i, i = 1, \dots, n, \\ \alpha_i \geq -w_i, i = 1, \dots, n, \\ w^T 1 = 1. \end{gathered} \tag{11}$$

Dimana α adalah parameter untuk membatasi nilai w dan δ adalah nilai ketidaktentuan dari μ

3. Perancangan Sistem

3.1. Sistem yang dibangun

Alur dari algoritma yang dibangun adalah sebagai berikut:



Gambar 2 Flowchart Sistem

Penjelasan alur sistem yang dibangun:

a. Input Harga Saham

Pada proses ini akan dimasukkan harga saham mingguan yang terdaftar pada indeks IDX30 dalam rentang waktu dari 1 Januari 2010 hingga 3 Januari 2020 (10 tahun).

Tabel 1 Daftar Saham IDX30

Kode	Naama Saham	Sektor
ADRO.JK	PT Adaro Energy Tbk	Pertambangan
PTBA.JK	PT Bukit Asam Tbk	
CPIN.JK	PT Charoen Pokphand Indonesia Tbk	Industri Dasar dan Kimia
INTP.JK	PT Indocement Tunggal Prakarsa Tbk	
SMGR.JK	PT Semen Indonesia (persero) Tbk	
BRPT.JK	PT Barito Pacific Tbk	
ASII.JK	PT Astra International Tbk	Aneka Industri
GGRM.JK	PT Gudang Garam Tbk	Industri Barng Konsumsi
HMSP.JK	PT Hanjaya Mandala Sampoerna Tbk	
ICBP.JK	PT Indofood CBP Sukses Makmur Tbk	
INDF.JK	PT Indofood Sukses Makmur Tbk	
KLBF.JK	PT Kalbe Farma Tbk	
UNVR.JK	PT Unilever Indonesia Tbk	
JSMR.JK	PT Jasa Marga (persero) Tbk	Infrastruktur, Utilitas, dan Transportasi
PGAS.JK	PT Perusahaan Gas Negara Tbk	
TLKM.JK	PT Telekomunikasi Indonesia Tbk	
BBCA.JK	PT Bank Central Asia Tbk	Keuangan
BBNI.JK	PT Bank Negara Indonesia (persero) Tbk	
BBRI.JK	PT Bank Rakyat Indonesia (persero) Tbk	
BBTN.JK	PT Bank Tabungan Negara (persero) Tbk	
BMRI.JK	PT Bank Mandiri (persero) Tbk	
LPPF.JK	PT Matahari Department Store Tbk	Perdagangan, Jasa, dan Investasi
UNTR.JK	PT United Tractors Tbk	

b. Menghitung *Return*

Pada tahap ini *return* harga masing-masing saham dihitung menggunakan persamaan (1) dan menghasilkan persentase return mingguan.

c. Menghitung *Expected Return*

Pada tahap ini akan dihitung rata-rata dari *return* dari persamaan (3)

d. Menetapkan Nilai Setiap Parameter

- *Sparse Mean-Variance*: menetapkan nilai τ dan ρ yang akan diujikan
- *Box Uncertainty Set*: menetapkan nilai τ, ρ, δ, dan α yang akan diujikan

e. Memformulasikan Masalah Optimasi Portofolio

Pada tahap ini merumuskan masalah optimasi portofolio mengenai fungsi yang di minumumkan dengan beberapa parameter

f. Mencari Bobot Portofolio dengan *Package* CVX

Pada tahap ini dilakukan perhitungan bobot saham diatas dengan menggunakan model optimasi *package CVX* python untuk mengatasi permasalahan *convex*.

g. Menghitung *Return* Portofolio

Pada tahap ini dilakukan perhitungan *return* portofolio dengan bobot yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya dengan persamaan (7) dan (11)

h. Menghitung Performansi

Performansi saham dapat ditinjau dari segi nilai terkecil, terbesar, dan rata-rata dari *return* portofolio. Selain itu juga menggunakan indeks *Sharpe Ratio* untuk mengukur kinerja portofolio. Evaluasi kinerja portofolio menjadi faktor pembanding dalam menentukan portofolio yang baik, dan portofolio saham yang memiliki kinerja baik memiliki nilai *Sharpe Ratio* tinggi. Indeks *Sharpe Ratio* dirumuskan sebai berikut:

$$S_p = \frac{\overline{R}_p - \overline{R}_f}{\sigma_p}$$

Dimana $S_p$merupakan indeks *Sharpe Ratio,* $\overline{R}_p$ merupakan rata-rata *return* portofolio, $\overline{R}_f$ merupakan rata-rata *risk free,* dan σ_p merupakan standar deviasi portofolio.

4. Evaluasi

4.1. Skenario Pengujian

a. Pengujian dilakukan dengan membandingkan dua model optimasi yaitu model *sparse mean-variance* dan melibatkan *box uncertainty set*

b. Data pada periode 1 Januari 2010 hingga 1 Januari 2017 sebagai data training, dan periode 2 Januari 2017 hingga 3 Januari 2020 merupakan data uji

c. Pengujian dilakukan sebanyak enam kali dengan jumlah saham yang berbeda diambil dari kombinasi saham dari setiap sektornya

- Dua Saham : adro, dan cpin
- Tiga Saham : adro, cpin, dan asii
- Empat Saham : adro, cpin, asii, dan unvr
- Lima Saham : adro, cpin, asii, unvr, dan jsmr
- Enam Saham : adro, cpin, asii, unvr, jsmr, dan bbni
- Tujuh Saham : adro, cpin, asii, unvr, jsmr, bbni, dan untr

d. Menghitung bobot dengan menggunakan *cvx package* dari model *sparse mean-variance* dan melibatkan *box uncertainty set* dengan nilai $\rho = 0.0015$, dengan tambahan parameter pada *model box uncertainty set* yaitu $\delta = 0.0015$ dan $\alpha = 0.7$

e. Melakukan pengujian dengan nilai $\tau = 0.01$ untuk mewakilkan nilai tau kecil, nilai $\tau = 0.1$ untuk mewakilkan nilai tau sedang, dan nilai $\tau = 0.6$ untuk mewakilkan nilai tau tinggi.

f. Menghitung *return* portofolio menggunakan portofolio yang telah diperoleh

g. Mengukur performansi dengan rata-rata *return* portofolio dan indeks *Sharpe Ratio*

4.2. Hasil Optimasi

Berdasarkan hasil optimasi yang melibatkan *box uncertainty set* dan model *sparse mean variance* dengan penggunaan nilau tau yang berbeda menghasilkan bobot *(weight)* dengan perbandingan sebagai berikut:

Tabel 2 Bobot Box Uncertainty Set dan Sparse Mean Variance

Jumlah Saham	Kode Saham	Bobot *Box Uncertainty Set*			Bobot *Sparse Mean Variance*		
		$\tau = 0.01$	$\tau = 0.1$	$\tau = 0.6$	$\tau = 0.01$	$\tau = 0.1$	$\tau = 0.6$
2 Saham	ADRO.JK	0.659	0.659	0.659	1.014	1.014	1.014
	CPIN.JK	0.341	0.341	0.341	-0.014	-0.014	-0.014
3 Saham	ADRO.JK	0.126	0.126	0.126	0.449	0.468	0.575
	CPIN.JK	0.371	0.371	0.371	-0.249	-0.241	-0.196
	ASII.JK	0.504	0.504	0.504	0.8	0.773	0.621
4 Saham	ADRO.JK	-0.051	-0.011	0	0.399	0.422	0.551
	CPIN.JK	0.406	0.428	0.437	-0.363	-0.346	-0.252
	ASII.JK	0.0393	0	0	0.565	0.556	0.505
	UNVR.JK	0.605	0.582	0.567	0.399	0.368	0.196
5 Saham	ADRO.JK	-0.17	-0.18	-0.077	0.243	0.264	0.379
	CPIN.JK	0.598	0.612	0.7	-0.323	-0.312	-0.221
	ASII.JK	-0.008	-0.0002	0	0.286	0.272	0.19
	UNVR.JK	0.649	0.572	0.377	0.203	0.168	0
	JSMR.JK	0	0	0	0.598	0.608	0.653
6 Saham	ADRO.JK	-0.216	-0.242	-0.283	0.23	0.252	0.378
	CPIN.JK	0.686	0.7	0.7	-0.297	-0.284	-0.219
	ASII.JK	-0.195	-0.143	0	0.299	0.284	0.191
	UNVR.JK	0.689	0.601	0.3729	0.218	0.182	0
	JSMR.JK	-0.12	-0.073	0	0.603	0.612	0.654
	BBNI.JK	0.156	0.156	0.210	-0.053	-0.046	-0.003
7 Saham	ADRO.JK	-0.374	-0.388	-0.456	0.183	0.201	0.303
	CPIN.JK	0.7	0.7	0.7	-0.285	-0.271	-0.194
	ASII.JK	-0.013	0	0	0.217	0.194	0.067
	UNVR.JK	0.7	0.7	0.6	0.228	0.193	0
	JSMR.JK	-0.123	-0.105	0	0.542	0.546	0.565
	BBNI.JK	0.306	0.298	0.322	-0.05	-0.042	0
	UNTR.JK	-0.197	-0.206	-0.156	0.164	0.178	0.259

4.3. Hasil Pengujian

Dengan menggunakan bobot yang diperoleh dari hasil optimasi yang melibatkan *box uncertainty set* dan model *sparse mean variance* terhadap data uji, diperoleh nilai *return* portofolio maksimum dan *return* portofolio minimum yang disajikan pada tabel berikut

Tabel 3 Nilai Maksimum dan Minimum Return Portofolio

Jumlah Saham	*Box Uncertainty Set*						*Sparse Mean Variance*					
	Return Maksimum			*Return* Minimum			*Return* Maksimum			*Return* Minimum		
	τ= 0.01	τ= 0.1	τ=0.6	τ= 0.01	τ= 0.1	τ=0.6	τ= 0.01	τ= 0.1	τ=0.6	τ= 0.01	τ= 0.1	τ=0.6
2 Saham	0.13	0.13	0.13	-0.15	-0.15	-0.15	0.17	0.17	0.17	-0.24	-0.24	-0.24
3 Saham	0.13	0.13	0.13	-0.09	-0.09	-0.09	0.1	0.11	0.12	-0.12	-0.12	-0.14
4 Saham	0.1	0.11	0.11	-0.09	-0.09	-0.09	0.1	0.1	0.11	-0.13	-0.13	-0.15
5 Saham	0.14	0.11	0.18	-0.12	-0.12	-0.12	0.12	0.13	0.15	-0.11	-0.11	-0.13
6 Saham	0.17	0.17	0.19	-0.13	-0.13	-0.12	0.12	0.13	0.15	-0.1	-0.11	-0.13
7 Saham	0.17	0.17	0.17	-0.16	-0.16	-0.15	0.1	0.11	0.12	-0.11	-0.11	-0.14

Dari tabel perbandingan nilai *return* portofolio maksimum dan *return* portofolio minimum diatas dapat dilihat bahwa model yang melibatkan *box uncertainty set* memiliki nilai maksimum dan minimum yang lebih besar dibandingkan dengan model *sparse mean variance* atau yang tidak melibatkan ketidakpastian.

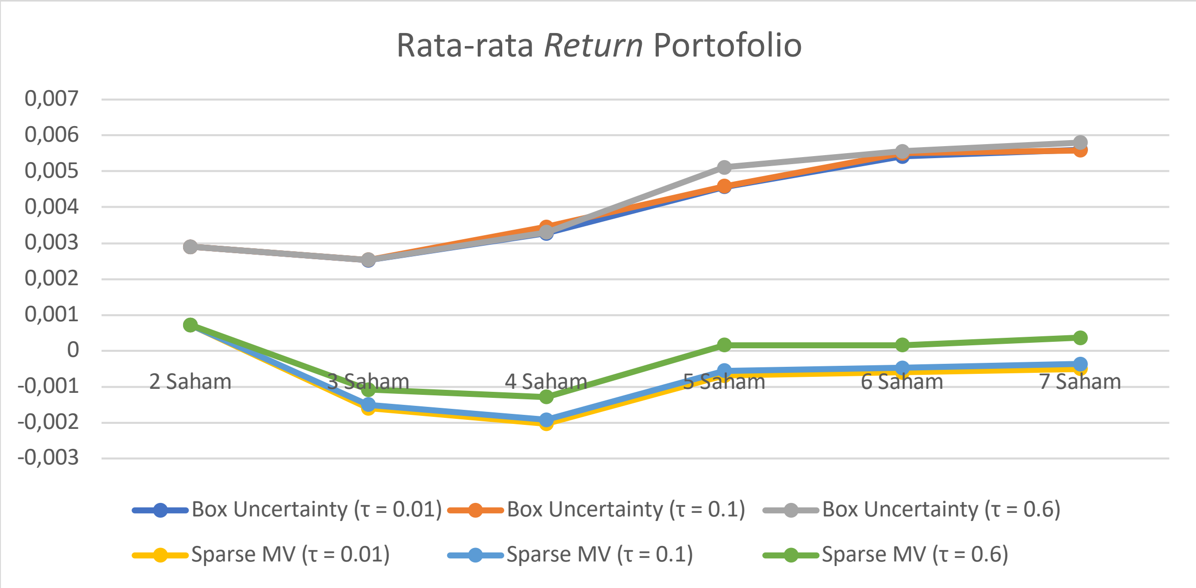
4.4. Analisis Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian menghasilkan rata-rata return portofolio sebagai berikut

Tabel 4 Rata-rata Return Portofolio

Jumlah Saham	Rata-rata *Return* Portofolio					
	Box Uncertainty Set			*Sparse Mean Variance*		
	τ = 0.01	τ = 0.1	τ = 0.6	τ = 0.01	τ = 0.1	τ = 0.6
2 Saham	0.0029	0.0029	0.0029	0.00072	0.00072	0.00072
3 Saham	0.0025	0.0025	0.0025	-0.0016	-0.0015	-0.0012
4 Saham	0.0033	0.0035	0.0033	-0.002	-0.0019	-0.0013
5 Saham	0.0046	0.0046	0.0051	-0.0007	-0.0006	0.00015
6 Saham	0.0054	0.0055	0.0056	-0.0006	-0.0005	0.00016
7 Saham	0.0056	0.0056	0.0058	-0.0005	-0.0004	0.0004

Selanjutnya nilai rata-rata return portofolio diatas dipetakan ke dalam grafik sebagai berikut



Gambar 3 Grafik Rata-rata Return Portofolio

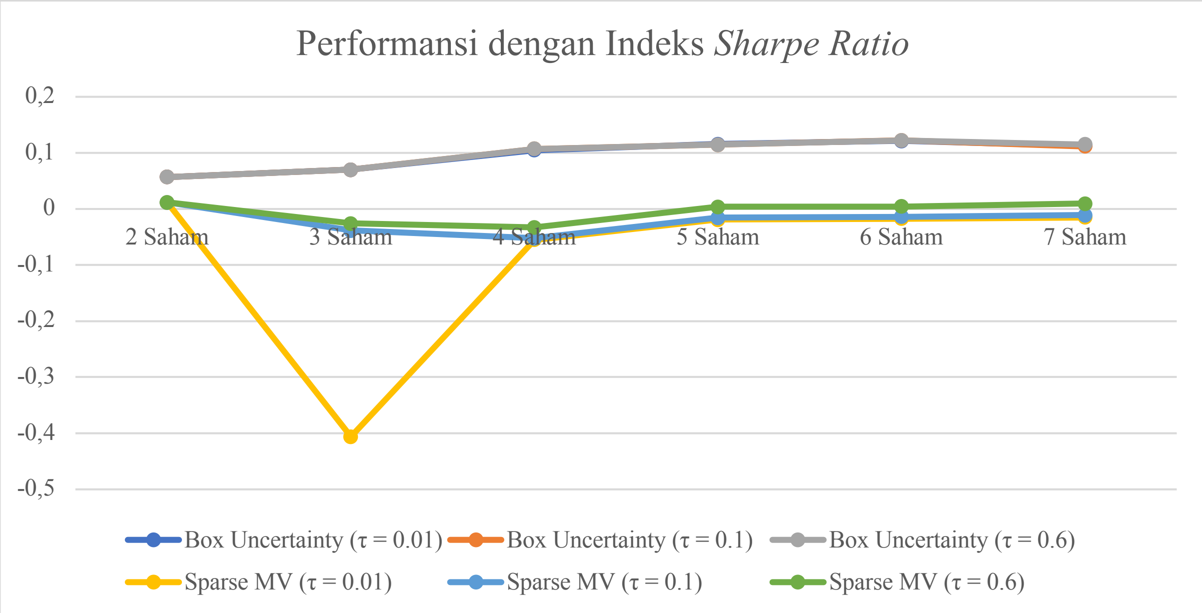
Dari hasil pengujian yang telah dilakukan melalui model *sparse mean-variance* dan melibatkan *box uncertainty set* dapat dilihat bahwa rata-rata *return* yang dihasilkan dengan pendekatan *box uncertainty set* lebih besar dibandingkan dengan model *Sparse Mean-variance*. Dengan pemilihan nilai delta yang tepat rata-rata *return* yang dihasilkan dari model *Box Uncertainty Set* lebih besar dibandingkan dengan nilai rho yaitu keadaan terburuk dari *expected return* yang menunjukkan bahwa *return* portofolio yang dihasilkan mengantisipasi ketidakpastian. Dan nilai $\tau = 0.6$ memberikan performansi paling baik diantara nilai tau yang lainnya.

Perbandingan pengukuran performansi dengan menggunakan indeks *sharpe ratio* pada model *sparse mean-variance* yang melibatkan *box uncertainty set* dan yang tidak melibatkan dapat disajikan pada tabel berikut:

Tabel 5 Nilai Sharpe Ratio

Jumlah Saham	*Sharpe Ratio*					
	Box Uncertainty Set			*Sparse Mean Variance*		
	$\tau = 0.01$	$\tau = 0.1$	$\tau = 0.6$	$\tau = 0.01$	$\tau = 0.1$	$\tau = 0.6$
2 Saham	0.057	0.057	0.057	0.012	0.012	0.012
3 Saham	0.07	0.07	0.07	-0.41	-0.038	-0.026
4 Saham	0.105	0.11	0.107	-0.055	-0.052	-0.033
5 Saham	0.12	0.114	0.115	-0.019	-0.015	0.0040
6 Saham	0.122	0.122	0.122	-0.017	-0.014	0.0042
7 Saham	0.113	0.122	0.12	-0.015	-0.011	0.0098

Selanjutnya hasil nilai indeks *sharpe ratio* diatas dapat dipetakan ke dalam grafik sebagai berikut



Gambar 4 Grafik Indeks Sharpe Ratio

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa model *sparse mean-variance* yang melibatkan *box uncertainty set* memiliki performansi yang lebih baik dibandingkan dengan yang tidak melibatkan *box uncertainty set.* Performansi kombinasi terbaik yaitu pada 7 saham dengan nilai *sharpe ratio* 0.115 pada 7 saham pada model *Box Uncertainty Set* dengan nilai $\tau = 0.6$

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dalam tugas akhir ini dengan implementasi model yang melibatkan *box uncertainty set* dalam optimasi portofolio saham IDX30 yaitu:

1. Kinerja portofolio yang dihasilkan ketika diukur menggunakan rata-rata *return* dari model yang menggunakan *box uncertainty set* memberikan rata-rata *return* lebih tinggi dibandingkan dengan yang tidak melibatkan *uncertainty*.
2. Kinerja portofolio yang dihasilkan ketika diukur menggunakan indeks *Sharpe Ratio* dari model yang menggunakan *box uncertainty set* memberikan nilai lebih tinggi dibandingkan dengan yang tidak melibatkan *uncertainty* yang menunjukkan kinerja yang baik.
3. Pada penelitian ini menunjukkan terjadinya *shortselling* pada model *sparse mean-variance* yang tidak melibatkan ketidakpastian maupun dengan melibatkan *box uncertainty set* dengan memberikan hasil beberapa bobot bernilai negatif.

Dalam penelitian selanjutnya disarankan penggunaan data saham yang berbeda dan pengujian dengan melibatkan lebih banyak data saham. Melakukan perbandingan kinerja dengan menggunakan model pendekatan lain yang melibatkan ketidakpastian.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Z. Dai and F. Wang, "Sparse and robust mean–variance portfolio optimization problems," *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, vol. 523, pp. 1371–1378, 2019, doi: 10.1016/j.physa.2019.04.151.

[2] M. Asadujjaman and K. Zaman, "Robustness-based portfolio optimization under epistemic uncertainty," *J. Ind. Eng. Int.*, vol. 15, no. 2, pp. 207–219, 2019, doi: 10.1007/s40092-018-0292-4.

[3] J. Brodie, I. Daubechies, C. De Mol, D. Giannone, and I. Loris, "Sparse and stable Markowitz portfolios," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 106, no. 30, pp. 12267–12272, 2009, doi: 10.1073/pnas.0904287106.

[4] K. Postek, "Robust optimization for optimal portfolio design [m]," 2012.

[5] B. Du and H. Zhou, "A robust optimization approach to the multiple allocation p-center facility location problem," *Symmetry (Basel).*, vol. 10, no. 11, 2018, doi: 10.3390/sym10110588.

[6] D. Chaerani, S. P. Dewanto, and E. Lesmana, "Robust optimization modelling with applications to industry and environmental problems," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 893, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1742-6596/893/1/012065.

[7] S. Moazeni, T. F. Coleman, and Y. Li, "Regularized robust optimization: The optimal portfolio execution case," *Comput. Optim. Appl.*, vol. 55, no. 2, pp. 341–377, 2013, doi: 10.1007/s10589-012-9526-3.

[8] Y. Feng, D. P. Palomar, and F. Rubio, "Robust optimization of order execution," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 63, no. 4, pp. 907–920, 2015, doi: 10.1109/TSP.2014.2386288.

[9] B. L. Gorissen, I. Yanikoğlu, and D. den Hertog, "A practical guide to robust optimization," *Omega (United Kingdom)*, vol. 53, no. Soyster 1973, pp. 124–137, 2015, doi: 10.1016/j.omega.2014.12.006.

[10] H. Markowitz, "Portfolio Selection," *J. Finance*, vol. 7, no. 1, pp. 77–91, 1952, doi: 10.1111/j.1540-6261.1952.tb01525.x.