Tugas Besar I IF3070 Dasar Inteligensi Artifisial

Pencarian Solusi Diagonal Magic Cube dengan Algoritma Local Search

Disusun oleh:

K02 - T32

Louis Ferdyo Gunawan / 18222022
Erwan Poltak Halomoan / 18222028
Hartanto Luwis / 18222064
Ammar Naufal / 18222066

Program Studi Sistem dan Teknologi Informasi
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika - Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10, Bandung
40132

Daftar Isi

Github: https://github.com/louisferdyo/Tubes-DAI-K-46.git

I. Deskripsi Persoalan

Persoalan yang dihadapi dalam tugas kali ini adalah menyelesaikan permasalahan sebuah *diagonal magic cube* berukuran 5x5x5. *Diagonal magic cube* merupakan kubus yang tersusun dari angka 1 hingga n^3 tanpa pengulangan dengan n adalah panjang sisi pada kubus tersebut (dalam kasus ini, n = 5, n^3 = 125) yang dibuat sedemikian rupa sehingga jumlah angka untuk setiap baris, kolom, tiang, diagonal potongan bidang, dan diagonal ruang kubus tersebut sama dengan suatu nilai yang disebut *magic number*. Disamping itu, *magic number* tidak harus termasuk dalam angka - angka yang digunakan sebagai susunan kubus tersebut.

Pencarian konfigurasi angka yang tepat untuk memenuhi seluruh syarat *diagonal magic cube* dilakukan dengan menggunakan algoritma *local search*. Setiap iterasi dalam algoritma *local search* akan melakukan penukaran antara 2 angka yang saling bertetangga dalam kubus sampai mendekati hasil konfigurasi yang paling optimum atau bahkan sempurna, yaitu memenuhi seluruh syarat dari suatu *diagonal magic cube*.

II. Pembahasan

II.1 Pemilihan Fungsi Objektif

Definisi Fungsi Objektif

Fungsi objektif adalah fungsi yang digunakan untuk mengecek kesesuaian kondisi saat ini dengan *goals* yang ingin dicapai. Pada kasus pencarian solusi 'Diagonal Magic Cube', kami menggunakan fungsi objektif yang akan me-*return* total nilai setiap elemen dari hasil penjumlahan pada baris, kolom, tiang, diagonal bidang, dan diagonal ruang kubus. Fungsi objektif tersebut akan membantu menentukan keberlanjutan algoritma *search* yang digunakan.

Elemen Utama Fungsi Objektif

Di dalam fungsi objektif terdapat elemen utama yang menjadi penentu dalam mendapatkan hasil dari fungsi objektif. Elemen utama tersebut adalah *magic number*. *Magic number* didapatkan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$M(n) = \frac{1}{2}\, n\left(n^3 + 1\right).$$

Gambar 1. Formula Mencari Nilai *Magic Number*

Pada kasus *diagonal magic cube* 5x5x5, dengan n sebagai panjang sisi maka didapat bahwa *magic number* sebesar 315. Setiap total jumlah baris, kolom, tiang, diagonal bidang, dan diagonal ruang pada kubus harus sama dengan 315 (*magic number*) sehingga sesuai dengan syarat dari *diagonal magic cube*.

Setelah itu, fungsi objektif dapat memanfaatkan elemen utama (*magic number*) untuk menjadi parameter keberlanjutan proses algoritma *search* yang dilakukan. Fungsi objektif yang digunakan berupa jumlah dari selisih absolut antara *magic number* dalam satu kubus dengan hasil penjumlahan total setiap elemen pada *state* saat ini.

$$\text{total\_error} = \sum_{\text{semua elemen}} \left|\text{magic\_number} - \text{jumlah\_elemen}\right|$$

Gambar 2. Formula Total Error atau Deviasi Fungsi Objektif

*elemen yang dimaksud terdiri dari baris, kolom, pilar (tiang), diagonal ruang, dan diagonal masing - masing bidang.

Pseudocode

```
function OBJECTIVE_FUNCTION(cube) returns total_error
    n <- LENGTH(cube)
    // Rumus magic number
    magic_number <- (n * (n^3 + 1)) / 2

    // Inisialisasi total_error
    total_error <- 0

    // Hitung error untuk semua baris, kolom, dan pilar
    for i from 1 to n do
        for j from 1 to n do
            total_error <- total_error + ABS(magic_number - cube.row_sum(i, j))  // Baris
            total_error <- total_error + ABS(magic_number - cube.column_sum(i, j))  // Kolom
            total_error <- total_error + ABS(magic_number - cube.pillar_sum(i, j))  // Pilar/Tiang

    // Hitung error untuk diagonal bidang pada setiap layer (XY, XZ, dan YZ)
    for i from 1 to n do
        total_error <- total_error + ABS(magic_number - cube.xy_diagonal_1(i))  // Diagonal utama XY
        total_error <- total_error + ABS(magic_number - cube.xy_diagonal_2(i))  // Diagonal sekunder XY
        total_error <- total_error + ABS(magic_number - cube.xz_diagonal_1(i))  // Diagonal utama XZ
        total_error <- total_error + ABS(magic_number - cube.xz_diagonal_2(i))  // Diagonal sekunder XZ
        total_error <- total_error + ABS(magic_number - cube.yz_diagonal_1(i))  // Diagonal utama YZ
        total_error <- total_error + ABS(magic_number - cube.yz_diagonal_2(i))  // Diagonal sekunder YZ
```

```
// Hitung error untuk diagonal ruang
total_error <- total_error + ABS(magic_number - cube.space_diagonal1()) // Diagonal ruang 1
total_error <- total_error + ABS(magic_number - cube.space_diagonal2()) // Diagonal ruang 2
total_error <- total_error + ABS(magic_number - cube.space_diagonal3()) // Diagonal ruang 3
total_error <- total_error + ABS(magic_number - cube.space_diagonal4()) // Diagonal ruang 4

return total_error
```

Penjelasan

Fungsi tersebut dirancang untuk menghitung total deviasi (error) dari konfigurasi kubus yang ada terhadap *magic number*. **Total error** ini adalah **jumlah selisih absolut** antara ***magic number*** dan **penjumlahan elemen - elemen dalam kubus** (baris, kolom, pilar, diagonal bidang, dan diagonal ruang).

Fungsi objektif ini juga bertujuan untuk meminimalkan error yang terjadi hingga mencapai nol. Semakin kecil total error, maka semakin baik konfigurasi kubus menuju solusi yang seharusnya, *magic cube*. Jika pada akhirnya total error sama dengan nol, maka konfigurasi kubus tersebut adalah *magic cube* yang sempurna dan memenuhi seluruh syarat yang ada. Sebaliknya, jika konfigurasi tidak valid, maka total error akan menjadi penalti yang menunjukkan seberapa jauh konfigurasi angka-angka penyusun kubus saat ini dari solusi atau *magic cube* yang benar.

II.2 Daftar Fungsi yang diimplementasikan pada Tugas Besar I dan Penjelasannya

Berikut adalah daftar fungsi yang digunakan pada implementasi kode untuk setiap algoritma :

No	Nama Fungsi dan Kode	Algoritma Pengguna	Penjelasan
1.	makeCube() Kode : `def makeCube():` `  cube = [[[0 for i in range(5)] for j in range(5)] for k in range(5)]` `  num = 1` `  for i in range(5):`	Semua	*loop* pada i,j,k yang pada elemen cube[i][j][k] diisi suatu nilai. Fungsi ini digunakan untuk membuat *magic cube* yang berisi nilai beruutan dari 1-125.

<table>
<tr>
<td></td>
<td>

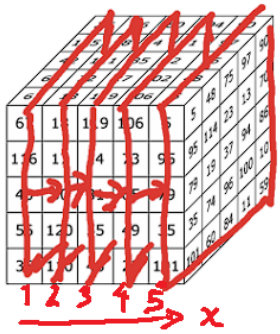
```
        for j in range(5):
            for k in range(5):
                cube[i][j][k] = num
                num += 1
    return cube
```

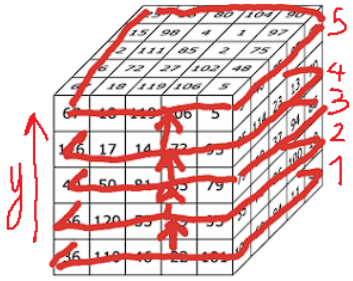
</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2.</td>
<td>printCube(cube)

Kode :

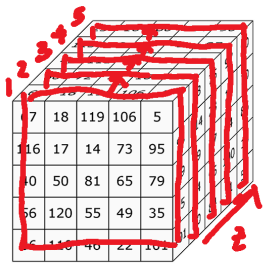

```
def printCube(cube) :
    print("Sisi ke sumbu x")
    for i in range(5) :
        print()
        print()
        print("----- Sisi ke-",
i+1,"------")
        for j in range (5) :
            print()
            for k in range (5) :
                print(cube[i][j][k],
"|" , end="")

    print()
    print()

print("--------------------------------
----------------")
    print("Sisi ke sumbu y")
    for j in range(5) :
        print()
        print()
        print("----- Sisi ke-",
j+1,"------")
        for k in range (5) :
            print()
            for i in range (5) :
                print(cube[i][j][k],
"|" , end="")
```

</td>
<td>Semua</td>
<td>Fungsi yang memiliki parameter state dari kubus yang digunakan untuk membuat visualisasi kubus dalam dua dimensi yang menampilkan setiap nilai pada sub elemen kubus pada setiap layar (terdiri dari 15 layar) yang dilihat dari sumbu x, sumbu y, sumbu z.

Sumbu X
 

Sumbu Y
 

Sumbu Z</td>
</tr>
</table>

	`` print() print() print("-------------------------------- ----------------") print("Sisi ke sumbu z") for k in range(5) : print() print() print("----- Sisi ke-", k+1,"------") for i in range (5) : print() for j in range (5) : print(cube[i][j][k], "|" , end="") return 0 ```		
3.	objectiveFunction(cube) Kode : ``` def objectiveFunction(cube) : #Menghitung jumlah selisih jumlah setiap row tiang diagonal dengan 315 errorSum = 0 magicNumber = 315 xSum = 0 ySum = 0 zSum = 0 diagonalXSum = 0 contDiagonalXSum = 0 diagonalYSum = 0 contDiagonalYSum = 0 diagonalZSum = 0 ```	Semua	Fungsi yang memiliki parameter *state* dari kubus yang digunakan untuk menghitung nilai objektif dari suatu *state* pada kubus. Outputnya berupa jumlah *error* yang merupakan total selisih setiap penjumlahan baris dengan *magic number*. Pencarian nilai objektif dilakukan dengan melakukan penjumlahan baris ke sumbu x, sumbu y, sumbu z, yang masing-masing nilainya akan dikurangi dengan *magic number* dan nilainya akan ditambah ke jumlah *error.* Selanjutnya perhitungan

	`` contDiagonalZSum = 0 spaceDiaSum_a = 0 spaceDiaSum_b = 0 spaceDiaSum_c = 0 spaceDiaSum_d = 0 # menghitung ke sumbu x (baris) for j in range(5) : for k in range (5) : xSum = 0 for i in range (5) : xSum += cube[i][j][k] errorSum += abs(xSum - magicNumber) # menghitung ke sumbu y (kolom) for k in range(5) : for i in range (5) : ySum = 0 for j in range (5) : ySum += cube[i][j][k] errorSum += abs(ySum - magicNumber) # Menghitung ke sumbu z for i in range(5) : for j in range(5) : zSum = 0 for k in range(5) : zSum += cube[i][j][k] errorSum += abs(zSum - magicNumber) # print("e1 saat ini : ", errorSum) # menghitung diagonal sisi ke sumbu x for i in range(5) : diagonalXSum = 0 contDiagonalXSum = 0 for x in range(5) : diagonalXSum += ```		diagonal dilakukan sisi dengan melakukan *loop* pada masing-masing sisi. Terakhir perhitungan diagonal sisi(dimulai dari atas) yang masing-masing jumlah baris diagonalnya dikurangi *magic number* dan ditambahkan ke total *error.* Semakin kecil nilai objektif (nilai *error)* maka dapat dikatakan *state* tersebut semakin mendekati global optimum (Error = 0).

```
cube[i][x][x]

            contDiagonalXSum +=
cube[i][4-x][x]
        errorSum +=
abs(contDiagonalXSum - magicNumber)
        errorSum += abs(diagonalXSum -
magicNumber)
    # menghitung diagonal sisi ke
sumbu y
    for j in range(5) :
        diagonalYSum = 0
        contDiagonalYSum = 0
        for y in range(5) :
            diagonalYSum +=
cube[y][j][y]

            contDiagonalYSum +=
cube[y][j][4-y]
        errorSum +=
abs(contDiagonalYSum - magicNumber)
        errorSum += abs(diagonalYSum -
magicNumber)
     # menghitung diagonal sisi ke
sumbu z
    for k in range(5) :
        diagonalZSum = 0
        contDiagonalZSum = 0
        for z in range(5) :
            diagonalZSum +=
cube[z][z][k]

            contDiagonalZSum +=
cube[z][4-z][k]
        errorSum += abs(diagonalZSum -
magicNumber)
        errorSum +=
abs(contDiagonalZSum - magicNumber)
    # menghitung diagonal ruang hitung
```

	dari atas for a in range (5) : spaceDiaSum_a += cube[a][4-a][a] errorSum += abs(spaceDiaSum_a - magicNumber) for b in range (5) : spaceDiaSum_b += cube[4-b][4-b][b] errorSum += abs(spaceDiaSum_b - magicNumber) for c in range (5) : spaceDiaSum_c += cube[4-c][4-c][4-c] errorSum += abs(spaceDiaSum_c - magicNumber) for d in range (5) : spaceDiaSum_d += cube[d][4-d][4-d] errorSum += abs(spaceDiaSum_d - magicNumber) return errorSum		
4.	initialStateRandom(cube) Kode : def initialStateRandom(cube) : arrayAngka = [] for i in range(5): for j in range(5): for k in range(5): found = False while found == False : angkaAcak =	Semua	Fungsi yang memiliki parameter *state* dari kubus yang digunakan untuk membuat suatu *state random* pada kubus dan menghasilkan output *state* kubus yang acak. Pada loop i;j;k, fungsi akan men-*generate* angka random. Angka random tersebut dilakukan pengecekan terhadap suatu array (berisi nilai-nilai yang sudah ada di

	random.randint(1,125) if(angkaAcak not in arrayAngka) : arrayAngka.append(angkaAcak) cube[i][j][k] = angkaAcak found = True return 0		*magic cube*) apakah sudah pernah di *assign* ke *magic cube*. Jika belum cube[i][j][k] akan bernilai angka random tersebut dan angka random akan dimasukkan ke array pengecekan.
5.	findBestNeighbor(cube) Kode : def findBestNeighbor(cube) : bestCube = copy.deepcopy(cube) bestValue = objectiveFunction(cube) for i in range(5): for j in range(5): for k in range(5): for l in range(5): for m in range(5): for n in range(5): if (i, j, k) != (l, m, n): # Ubah posisi cube[i][j][k], cube[l][m][n] = cube[l][m][n], cube[i][j][k] # Cari nilai objektif dari pertukaran tersebut value = objectiveFunction(cube) # jika	- Steepest Ascent - Sideways Move - Random Restart	Fungi yang memiliki parameter *state* dari kubus digunakan untuk mencari tetangga yang memiliki nilai objektif terendah dari semua *state* yang mungkin dan memberikan output berupa *best state* yang memiliki nilai objektif terendah dari semua kemungkinan. Pencarian dilakukan dengan menggunakan 6 loop, tiga *loop* sebagai indeks untuk kubus pembanding dan tiga untuk kubus yang dibandingkan.

	`` nilai error atau value lebih kecil, lakukan pertukaran if value < bestValue: bestCube = copy.deepcopy(cube) bestValue = value # Ubah kemabali ke cube asal cube[i][j][k], cube[l][m][n] = cube[l][m][n], cube[i][j][k] return bestCube ```		
6.	steepestAscent(cube) ``` def steepestAscent(cube) : startTime = time.time() objectiveValues = [] condition = True iterationSum = 0 while condition == True : currentValue = objectiveFunction(cube) objectiveValues.append(currentValue) neigborCube = findBestNeighbor(cube) neigborValue = objectiveFunction(neigborCube) if(neigborValue < currentValue) : cube = neigborCube iterationSum += 1 else : condition = False endTime = time.time() ```	- Steepest Ascent	Fungsi yang menjalankan algoritma Hill Climbing, yaitu Steepest Ascent yang outputnya berupa suatu state yang merupakan lokal optima (bisa global maksimum). *Neighbor State* didapat dengan memanggil findBestNeighbor yang akan mengembalikan *state* terbaik (setelah mencoba melakukan pertukaran untuk setiap kemungkinan) yang mungkin berdasarkan *state* sebelumnya.

	`` duration = endTime - startTime plotObjectiveFunction(objectiveValues) return cube, iterationSum, duration ```		
7.	sidewaysMove(cube, maxSideways) Kode : ``` def sidewaysMove(cube, maxSideways) : startTime = time.time() objectiveValues = [] condition = True iterationSum = 0 sidewaysSum = 0 while condition == True : currentValue = objectiveFunction(cube) objectiveValues.append(currentValue) neigborCube = findBestNeighbor(cube) neigborValue = objectiveFunction(neigborCube) if(neigborValue < currentValue) : cube = neigborCube iterationSum += 1 elif(neigborValue == currentValue and sidewaysSum < maxSideways) : cube = neigborCube iterationSum += 1 sidewaysSum += 1 else : condition = False endTime = time.time() duration = endTime - startTime ```	- Sideways Move	Fungsi yang melakukan algoritma Hill Climbing, yaitu SidewaysMove yang mirip dengan algoritma Steepest Ascent dan disertai parameter tambahan, yakni maxSideways yaitu jumlah maksimal dilakukannya Sideways Move (ketika nilai objektif dari *neighbor state = current state)*. Fungsi ini memungkinkan keluar dari lokal optima ketika ada *objective value* dari *neighbor state = current state* dengan mengganti *current state* menjadi *neighbor state.* Dengan harapan iterasi selanjutnya bisa menurunkan nilai objektif.

	`` plotObjectiveFunction(objectiveValues) return cube, iterationSum, duration, sidewaysSum ```		
8.	randomRestart(cube, maxRestart) Kode : ``` def randomRestart(cube, maxIteration) : startTime = time.time() i = 0 restartCount = 0 iterationSum = [] objectiveValues = [] condition = True while condition == True : currentValue = objectiveFunction(cube) objectiveValues.append(currentValue) neigborCube = findBestNeighbor(cube) neigborValue = objectiveFunction(neigborCube) if(neigborValue < currentValue) : cube = neigborCube i += 1 elif (restartCount < maxIteration and neigborValue >= currentValue) : cube = initialStateRandom(cube) restartCount += 1 iterationSum.append(i) i = 0 ```	- Random Restart	Fungsi yang melakukan algoritma Hill Climbing yaitu Random Restart yang mirip dengan algoritma Steepest Ascent yang disertai parameter tambahan yaitu maxRestart yaitu jumlah maksimal dilakukannya *restart. Restart* dilakukan ketika program sudah mencapai lokal optima atau tidak ada *neighbor state* yang kurang dari *current state* yang dihasilkan dari fungsi findBestNeighbor.

	<pre>else : condition = False endTime = time.time() duration = endTime - startTime plotObjectiveFunction(objectiveValues) return cube, restartCount, iterationSum, duration</pre>		
9.	plotObjectiveFunction(objectivesValue) Kode : <pre>def plotObjectiveFunction(objectiveValues): plt.figure(figsize=(10, 6)) plt.plot(range(1, len(objectiveValues) + 1), objectiveValues, marker='o', label='Nilai Objective Function') plt.xlabel('Iterasi') plt.ylabel('Nilai Objective Function') plt.title('Plot Nilai Objective Function terhadap Jumlah Iterasi') plt.legend() plt.grid(True) plt.show()</pre>	Semua	Fungi yang menggunakan library math dan berfungi untuk membuat grafik mengenai plot nilai objektif pada setiap iterasi.
10	randomCoorinate() Kode : <pre>def randomCoordinate() : x = random.randint(0, 4) y = random.randint(0, 4) z =random.randint(0, 4)</pre>	- Stochastic - Simulated Annealing	Merupakan fungsi yang melakukan *generate* koordinat acak yang akan digunakan di fungsi makeRandomState sebagai koordinat acak dari kubus yang akan dilakukan pertukaran. Ouputnya berupa tuple yang berupa nilai x,y,z sebagai koordinat dari kubus.

	`` return (x,y,z) ```		
11	makeRandomState(cube) Kode : ``` def makeRandomState(cubeTemp) : condition = False #kondisi untuk cari nilai coor1 = randomCoordinate() coor2 = randomCoordinate() while condition == False : if(coor1 == coor2) : coor1 = randomCoordinate() coor2 = randomCoordinate() else : condition = True break # print("\nstate 1 = \n", cube[coor1[0]][coor1[1]][coor1[2]]) # print("\nstate 2 = \n", cube[coor2[0]][coor2[1]][coor2[2]]) temp = cubeTemp[coor2[0]][coor2[1]][coor2[2]] cubeTemp[coor2[0]][coor2[1]][coor2[2]] = cubeTemp[coor1[0]][coor1[1]][coor1[2]] cubeTemp[coor1[0]][coor1[1]][coor1[2]] = temp return cubeTemp ```	- Stochastic - Simulated Annealing	Fungsi yang melakukan pertukaran acak suatu nilai pada kubus dan merupakan *neighbor state* dari algoritma Stochastic dan Simulated Annealing. Dilakukan dengan memanggil dua kali fungsi randomCoorinate untuk didapat koordinat acak yang akan menjadi indeks pertukaran elemen pada kubus.
12	stochastic(cube, maxIteration) Kode :	- Stochastic	Fungsi yang melakukan algoritma *stochastic* yang dibatasi oleh maxIteration.

	`` def stochastic(cube, maxIteration) : startTime = time.time() i = 0 objectiveValues = [] while i < maxIteration: currentValue = objectiveFunction(cube) objectiveValues.append(currentValue) cubeTemp = copy.deepcopy(cube) neighborCube = makeRandomState(cubeTemp) # print("hasil tengah : ", objectiveFunction(cube)) nextValue = objectiveFunction(neighborCube) if(nextValue < currentValue) : cube = neighborCube i += 1 endTime = time.time() duration = endTime - startTime plotObjectiveFunction(objectiveValues) return cube, duration ```		Pada algoritma ini *neighbor state* didapatkan dengan memanggil fungsi makeRandomState yaitu melakukan perubahan *state* dengan melakukan pertukaran nilai secara acak. Jika nilai objektif dari pertukaran tersebut lebih kecil maka *state* tersebut akan menjadi *currentState.*
13	simulatedAnnealing(cube, Temperature, coolingRate, threshold) Kode : ``` def simulatedAnnealing(cube, T, coolingRate, threshold) : startTime = time.time() i = 0 stuck = 0 objectiveValues = [] deltaEValues = [] ```	- Simulated Annealing	Fungsi yang menjalankan algoritma *simulatedAnnealing* yang memiliki beberapa parameter. Ketika temperatur belum 0, algoritma akan terus berjalan. ***Schedule* pengurangan temperatur** yang kami pilih yaitu **pengurangan biasa “T = T - coolingRate”** agar program tidak berjalan terlalu lama dan hasilnya lebih mudah dianalisis. Pengurangan temperatur

	`` while T > 0: T -= coolingRate # penurunan temperatur dilakukan dengan dikurangi koefisien penurunan i += 1 if T <= 0 : break print("\nT : ", T) currentValue = objectiveFunction(cube) objectiveValues.append(currentValue) cubeTemp = copy.deepcopy(cube) cube2 = makeRandomState(cubeTemp) # print("hasil tengah : ", objectiveFunction(cube)) nextValue = objectiveFunction(cube2) print("current : " , currentValue, " next : ", nextValue) deltaE = nextValue - currentValue print("delta = ", deltaE) if(deltaE < 0) : # karena yang lebih kecil dari 0 artinya next value lebih kecil dari current yang artinya mengurangi error cube = cube2 print("less than 0") else : prob = math.exp(-deltaE/T) # karena error harus lebih kecil maka dikali -1 deltaEValues.append(prob) print("prob = ", prob) ```		dilakukan di awal. Pada Simulated Annealing, ***neighbor state* akan dipilih secara acak** sama seperti pada Stochastic, akan tetapi parameter perpindahan *state* ditentukan oleh Delta E. **Delta E** didapat dengan mengurangi nilai objektif pada *neighbor state* dengan *current* state. Jika **Delta E kurang dari 0** artinya nilai objektif *neighbor state* lebih kecil yang artinya memiliki *error* lebih sedikit sehingga *current state* saat ini akan diganti oleh *neighbor* state. Jika sebaliknya, **perhitungan probabiiltas** akan dilakukan dengan formula **prob = -Delta E / T.** Formula menggunakan minus karena *objective value* berbanding terbalik dengan algoritma umumnya yang mana semakin kecil artinya semakin baik. Ketika **probabilitas lebih dari threshold**, perubahan *state* akan dilakukan. Jika tidak frekuensi *stuck* akan bertambah.

	`` if(prob > threshold) : cube = cube2 print("swapped") else : stuck += 1 # print("hasil akhir : ", objectiveFunction(cube)) endTime = time.time() duration = endTime - startTime plotObjectiveFunction(objectiveValues, deltaEValues) return cube, stuck, duration ```		
14	plotObjectiveFunction(objectiveValues, deltaValues) Kode : ``` def plotObjectiveFunction(objectiveValues, deltaEValues): plt.figure(figsize=(12, 6)) # Plot untuk nilai objective function terhadap iterasi plt.subplot(2, 1, 1) plt.plot(range(1, len(objectiveValues) + 1), objectiveValues, label='Nilai Objective Function') plt.xlabel('Iterasi') plt.ylabel('Nilai Objective Function') plt.title('Plot Nilai Objective Function terhadap Iterasi') plt.legend() plt.grid(True) ```	- Simulated Annealing	Fungsi yang melakukan plot terhadap delta E dan nilai objektif setiap iterasi.

	`` # Plot untuk exp(ΔE / T) terhadap iterasi plt.subplot(2, 1, 2) plt.plot(range(1, len(deltaEValues) + 1), deltaEValues, label='Nilai exp(ΔE / T)') plt.xlabel('Iterasi') plt.ylabel('Nilai exp(ΔE / T)') plt.title('Plot Nilai exp(ΔE / T) terhadap Iterasi') plt.legend() plt.grid(True) plt.tight_layout() plt.show() ```		
15	generateRandomPopulation(populationSize) Kode : ``` def generateRandomPopulation(populationSize) : population = [] for i in range(populationSize) : individu = list(range(1, 126)) random.shuffle(individu) population.append(individu) return population ```	- Genetic Algorithm	Fungsi yang membuat populasi awal yang menginiasiskan setiap *state* individu dalam populasi secara random.
16	geneticAlgorithm(cube,populationSize, maxIteration) Kode : ``` def geneticAlgorithm(cube, populationSize, maxIteration) : startTime = time.time() lowestObjective = 9999 ```	- Genetic Algorithm	Fungsi ini menjalankan algoritma geneticAlgorithm yang akan berjalan sampai iterasi maksimal atau mencapai global maksimum. Pertama **populasi dibuat dengan memanggil fungsi generateRandomPopulation** yang akan menghasilkan individu dengan *random*

```
    indeks = 0
    population = []
    population =
generateRandomPopulation(populationSiz
e)
    maxObjectivePerIteration = []
    averageObjectivePerIteration = []
    while(indeks < maxIteration and
lowestObjective > 0) :
        fitnessScore = []
        fitnessSum = 0
        fitnessPercentage = []
        wheelRange = []
        newPopulation = []
        currentObjectives = []
        sumPercentage = 0
        for i in range
(populationSize) :
            individu2 =
convertTo3D(population[i])
            currentObjective =
objectiveFunction(individu2)

currentObjectives.append(currentObject
ive)
            if(currentObjective <
lowestObjective) :
                bestCube =
copy.deepcopy(cube)
                lowestObjective =
currentObjective
            fitness = 1 / (1 +
currentObjective)

fitnessScore.append(fitness)
            fitnessSum += fitness

maxObjectivePerIteration.append(max(cu
rrentObjectives))
```

state sejumlah ukuran populasi.

Dalam **perhitungan nilai fitness, dilakukan dengan menghitung nilai objektif** dari setiap indivdu. Akan tetapi karena nilai fitness ini akan digunakan dalam seleksi spinWheel, maka nilai **fitness akan berbanding terbalik dengan nilai objektif.** Hal tersebut dikarenakan semakin kecil nilai objektif artinya semakin baik dan semakin mendekati global optimum, sedangkan nilai fitness yang baik adalah yang semakin besar sehingga memiliki peluang yang lebih besar untuk terpilih pada spinWheel. Oleh karena itu **"nilai fitness = 1/(1+nilai objektif)"** (ditambah satu untuk menghindari *zero divsion)*. Nilai fitness ini akan dimasukkan ke dalam array sebagai kumpulan nilai fitness dari setiap individu.

Untuk **menentukan persentase spinWheel**, nilai fitness dari masing-masing individu dihitung dengan dibagi total nilai fitness dan dikali 100% yang nantinya nilai tersebut akan dimasukan ke **array wheelRange** yang akan menjadi batas pada spinWheel. Setelah batas terdefinisi, akan dilakukan **algoritma spinWheelSelection** untuk memilih *parent* sejumlah ukuran populasi. Setelah

	 averageObjectivePerIteration.append(sum(currentObjectives) / populationSize) for i in range (len(fitnessScore)) : fitnessPercent = (fitnessScore[i] / fitnessSum) * 100 sumPercentage += fitnessPercent wheelRange.append(sumPercentage) fitnessPercentage.append(fitnessPercent) parent = spinWheelSelection(population, wheelRange) for i in range (populationSize) : child = crossOver(populationSize, parent) if(child != None) : newPopulation.append(child) for i in range (len(newPopulation)) : newPopulation[i] = mutate(newPopulation[i], 0.1) indeks += 1 print(f"Best Objective : {lowestObjective}") population = newPopulation endTime = time.time() duration = endTime - startTime plotObjectiveFunction(maxObjectivePerIteration, averageObjectivePerIteration) return cube, lowestObjective,		didapaat *parent* sejumlah ukuran populasi, akan dilakukan pemanggilan **fungsi crossover**. Setelah itu dilanjutkan dengan pemanggilan **funsgi mutate**. Setelah mutasi dilakukan(baik berhasl atau tidak) **individu (*child)* hasil *crossover* dan mutasi** akan menjadi **populasi baru** yang akan menjadi populasi awal untuk iterasi selanjutnya.

	indeks, duration, bestCube		
	spinWheelSelection(population, wheelRange) Kode : `def spinWheelSelection(population, wheelRange) :` `  parent = []` `  totalPopulation = len(population)` `  for i in range(totalPopulation) :` `  randomValue = random.uniform(0,100)` `  for j in range(totalPopulation) :` `  if(j == 0) :` `  if(randomValue >=0 and randomValue <= wheelRange[j]) :` `  parent.append(population[j])` `  break` `  else :` `  if(randomValue >= wheelRange[j-1] and randomValue < wheelRange[j]) :` `  parent.append(population[j])` `  break` `  return parent`	- Genetic Algorithm	Fungsi ini memuat algoritma untuk melakukan seleksi dengan metode *spin wheel* di mana akan dilakukan iterasi sampai jumlah populasi untuk ditemukan *parent* yang nantinya akan dilakukan *crossover*. Akan dilakukan pemilihan angka acak dari 0-100. wheelRange merupakan array yang berisi batas-batas persentase dari calon *parent.* Ketika angka random yang terpilih berada dalam suatu *range* tertentu, individu yang memiliki *range* tersebut akan dimasukkan ke array *parent*.
18	crossOver(populationSize, parent) Kode : `def crossOver(populationSize, population) :` `  x = random.randint(0,populationSize-1)` `  y =`	- Genetic Algorithm	Fungsi ini melakukan crossover antara *parent* yang terpilih. **Pemilihian *parent*** untuk dilakukan *crossover* dilakukan dengan **memilih secara acak pada array *parent*** dan memastikan bahwa *parent* yang akan di *crossover* berbeda serta *parent* lebih dari satu. Setelah

	`` random.randint(0,populationSize-1) if(populationSize == 1) : print("Populasi haya satu, tidak bisa crossover") return None else : while(x == y) : y = random.randint(0,populationSize-1) # print(f"y: {y}") length = len(population[x]) crossoverPoint = random.randint(1, length - 1) # Titik crossover acak dimula dari 1 untuk menghindari crossover seluruh array # Buat child dengan melakukan crossover child = population[x][:crossoverPoint] + population[y][crossoverPoint:] return child ```		itu akan ada pemilihan titik *crossover* secara acak *Crossover* dilakukan dengan mengambil elemen ke 0 sampai elemen pada titik *crossover* dari *parent 1*. Serta mengambil elemen dari titik *crossover* + 1 sampai elemen terakhir. *Crossover* dilakukan sebanyak jumlah inidividu pada populasi agar menghasilkan jumlah *child* yang sama.
19	mutate(individu, mutationRate) Kode : ``` def mutate(individu, mutationRate) : indexTochange = 0 if(random.random() < mutationRate) : print("\nMutasi Dilakukan\n") mutationIndex = random.randint(0, len(individu) - 1) newValue = random.randint(1, 125) ```	- Genetic Algorithm	Fungsi ini melakukan perubahan *state* pada individu dengan melakukan pertukaran secara acak. Mutasi akan dilakukan ketika angka yang di*generate* secara acak kurang dari mutationRate.

	`` for i in range(125) : if(individu[i] == newValue) : indexTochange = i break temp = individu[mutationIndex] # melakukan pertukaran secara acak pada indeks yang acak individu[mutationIndex] = newValue individu[indexTochange] = temp # print(f"indeks yang berubah yaitu {mutationIndex} dan indeks yang terdampak yaitu {indexTochange}") # print(f"Nilai yang diubah menjadi {newValue} dan nilai yang berubah yaitu {temp}") else : print("\nMutasi Gagal Dilakukan\n") return individu ```		
20	convertTo3D(individu) Kode : ``` def convertTo3D(individu): return np.reshape(individu, (5, 5, 5)) ```	- Genetic Algorithm	*State* individu direpresentasikan dalam array biasa. Agar *state* tersebut bisa menggunakan *objective function* maka *state* tersebut harus di ubah ke dalam bentuk cube[i][j][k]. Fungsi ini menggunakan *library numpy* untuk mengubah array biasa menjadi matrix 3d.
21	showInitiateCube(cube) Kode: ``` # Untuk yang kubus awal (Initiate) def showInitiateCube(cube): x, y, z, text = [], [], [], [] ```	Semua	Fungsi ini memberikan **visualisasi tiga dimensi** angka - angka yang menyusun Magic Cube dengan menerapkan **array**, lalu disesuaikan penempatannya tepat

	<pre>for i in range(5): for j in range(5): for k in range(5): x.append(i) y.append(j) z.append(k) text.append(str(cube[i][j][k])) #Angkanya harus dibaca dari bawah dan sudut pandang yang tepat, karena dalam 3D tidak bisa persis membuat sesuai dengan hasil cetakan terminal (2D) fig = go.Figure(data=[go.Scatter3d(x=x, y=y, z=z, mode='text', text=text, textposition="middle center", textfont=dict(size=15, color='red'))]) fig.update_layout(scene=dict(xaxis=dict(nticks=5, range=[-1, 5], showticklabels=False, showgrid=False, showline=False, showbackground=False), yaxis=dict(nticks=5, range=[-1, 5], showticklabels=False, showgrid=False, showline=False, showbackground=False), zaxis=dict(nticks=5, range=[-1, 5], showticklabels=False, showgrid=False, showline=False, showbackground=False),</pre>		ditengah - tengah sehingga angka - angka tersebut akan **membentu suatu kubus** yang dapat diputar ataupun di*zoom-in* dan di*zoom-out*. **Catatan:** Hasil cetakan tiga dimensi ini akan terlihat berbeda dengan cetakan dua dimensi yang ada diterminal. Namun, hasil objectiveFunction yang divisualisasikan pada showInitiateCube, showFinalCube, ataupun showBestCube tetap konsisten karena seluruhnya memvisualisasikan dari koordinat yang sama (Dimulai dari bawah kiri dan orientasi sumbunya berbeda dengan dua dimensi).

	``), title="Initial State Magic Cube - Kelompok 46", margin=dict(l=0, r=0, b=0, t=30)) fig.show() ```		
22	showFinalCube(cube) Kode: ``` # Untuk kubus akhir def showFinalCube(cube): x, y, z, text = [], [], [], [] for i in range(5): for j in range(5): for k in range(5): x.append(i) y.append(j) z.append(k) text.append(str(cube[i][j][k])) #Hasil cetakan final dan initiate tetap konsisten walau seperti terlihat berbeda pada cetakan 2D fig = go.Figure(data=[go.Scatter3d(x=x, y=y, z=z, mode='text', text=text, textposition="middle center", textfont=dict(size=15, color='green'))]) fig.update_layout(scene=dict(xaxis=dict(nticks=5, ```	Semua	Fungsi ini sebenarnya memiliki **konsep yang sama** dengan showInitiateCube. Fungsi ini dibuat untuk **memudahkan main.py** dalam memanggil hasil final Magic Cube. Yang membedakan adalah **warna** angka pada showFinalCube adalah hijau, sedangkan untuk showInititateCube adalah merah.

	range=[-1, 5], showticklabels=False, showgrid=False, showline=False, showbackground=False), yaxis=dict(nticks=5, range=[-1, 5], showticklabels=False, showgrid=False, showline=False, showbackground=False), zaxis=dict(nticks=5, range=[-1, 5], showticklabels=False, showgrid=False, showline=False, showbackground=False),), title="Final State Magic Cube - Kelompok 46", margin=dict(l=0, r=0, b=0, t=30)) fig.show()		
23	showBestCube(cube) Kode: `# Untuk kubus terbaik (Genetic ALgorithm)` `def showBestCube(cube):` `x, y, z, text = [], [], [], []` `for i in range(5):` `for j in range(5):` `for k in range(5):` `x.append(i)` `y.append(j)` `z.append(k)` `text.append(str(cube[i][j][k]))` `#Hasil cetakan final dan initiate tetap konsisten walau seperti terlihat berbeda pada cetakan 2D` `fig =`	- Genetic Algorithm	Fungsi ini **sama persis** dengan showFinalCube. Fungsi ini dibuat untuk **mempermudah memvisualisasikan bestCube** yang ada hanya pada **geneticAlgorithm** (jika memang berbeda dengan finalCubenya).

```
go.Figure(data=[go.Scatter3d(
    x=x,
    y=y,
    z=z,
    mode='text',
    text=text,
    textposition="middle center",
    textfont=dict(size=15,
color='green')
    )])

    fig.update_layout(scene=dict(
    xaxis=dict(nticks=5, range=[-1,
5], showticklabels=False,
showgrid=False, showline=False,
showbackground=False),
    yaxis=dict(nticks=5, range=[-1,
5], showticklabels=False,
showgrid=False, showline=False,
showbackground=False),
    zaxis=dict(nticks=5, range=[-1,
5], showticklabels=False,
showgrid=False, showline=False,
showbackground=False),
    ),
    title="Best State Magic Cube
(Genetic Algorithm) - Kelompok 46",
    margin=dict(l=0, r=0, b=0, t=30))

    fig.show()
```

II.3 Penjelasan Algoritma Local Search

Ada banyak algoritma *local search* yang dapat digunakan dalam mengatasi masalah *diagonal magic cube*. Setiap algoritma akan memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing saat diimplementasikan pada suatu masalah. Berikut adalah penjelasan dari beberapa algoritma *local search* yang digunakan pada proses pencarian *local search* terbaik untuk mengatasi masalah *diagonal magic cube*.

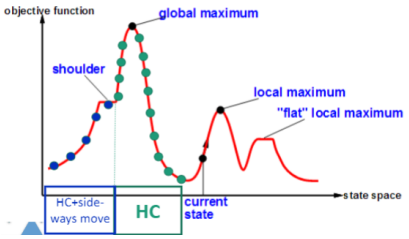
1. Steepest Ascent Hill-climbing:

```
function HILL-CLIMBING(problem) returns a state that is a local maximum
   current <- MAKE-NODE(problem.INITIAL-STATE)
   loop do
      neighbor <- a lowest-valued successor of current  // Neighbor total_error terendah
      if neighbor.VALUE <-= current.VALUE then return current.STATE
      current <- neighbor
```

Metode *local search* 'Steepest Ascent Hill-climbing' adalah variansi paling dasar dari *local search hill-climbing*. Metode ini akan melakukan iterasi untuk mengevaluasi semua kemungkinan tetangga yang lebih baik dari kondisinya sekarang. Jika dia menemukan yang lebih baik maka akan dilakukan penukaran dua angka pada kubus. Penukaran dilakukan ke tetangga yang memiliki peningkatan terbesar (pendakian curam). Penukaran dilakukan hingga tidak ada lagi tetangga yang lebih besar dengannya.

Steepest Ascent Hill-climbing menjadi salah satu metode yang cukup mudah diimplementasikan. Akan tetapi, terdapat beberapa kasus yang membuat metode ini kurang optimal diterapkan karena beberapa hasil akhir cenderung terjebak pada optimum lokal, bukan pada optimum global (hasil yang terbaik). Hal tersebut karena solusi optimum global mungkin sudah terlewat dari proses iterasi pencarian sekarang.

Dalam permasalahan *diagonal magic cube* 5x5x5, penerapan *Steepest Ascent Hill-climbing* menjadi metode yang efisien untuk mendapatkan solusi yang cepat. Akan tetapi, solusi yang didapatkan akan cenderung kurang optimal dari yang diinginkan.



Gambar 3. Grafik Hill-climbing yang Melewatkan Solusi optimum Global

2. Hill-climbing with Sideways Move

```
function HILL-CLIMBING(problem) returns a state that is a local maximum
   current <- MAKE-NODE(problem.INITIAL-STATE)
   sideways_move <- 0
   max_sideways_move <- 1000 // Batas maksimal sideways move, bisa diganti
   loop do
        neighbor <- a highest-valued successor of current
        if neighbor.VALUE < current.VALUE then return current.STATE
        else if neighbor.VALUE == current.VALUE then
           if sideways_moves >= max_sideways_moves then
              return current.STATE
           sideways_moves <- sideways_moves + 1
        else
           sideways_moves <- 0
        current <- neighbor
```

Metode *local search* 'Hill-climbing with Sideways Move' merupakan metode yang cukup mirip dengan metode *Steepest Ascent Hill-climbing*. Hal yang membedakannya adalah jika *Steepest Ascent Hill-climbing* hanya bergerak ke tetangga yang terbaik, maka *Hill-climbing with Sideways Move* memperbolehkan *state* sekarang untuk bergerak ke nilai yang setara dengannya (gerakan samping) dengan syarat jika tidak ada lagi tetangga yang lebih baik.

Hal tersebut bertujuan untuk menghindari terjebak di dataran tinggi dengan cara mencari celah dengan bergerak ke tetangga yang setara dengannya (bagian *shoulder* pada gambar 3). Akan tetapi, metode ini masih bisa membuat *local search* terjebak di minimum lokal.

Jika metode *Hill-climbing with Sideways Move* diterapkan dalam permasalahan *diagonal magic cube* 5x5x5, maka terdapat kesempatan untuk mencari solusi alternatif dari kondisi yang setara dengan saat ini. Namun, ada kemungkinan untuk terjebak dari *shoulder* kondisi yang setara. Selain itu, meskipun tidak terjebak dari *shoulder*, maka masih ada kemungkinan maksimum global untuk terlewatkan dari terminasi hasil solusi terakhir.

3. Random Restart Hill-climbing:

```
function HILL-CLIMBING(problem) returns a state that is a local maximum
   best <- MAKE-NODE(problem.INITIAL-STATE)
   repeat nmax times
      current <- MAKE-NODE(problem.RANDOM-STATE())
      loop do
```

```
        neighbor <- a highest-valued successor of current
        if neighbor.VALUE <= current.VALUE then
            break
        current <- neighbor
    if current.VALUE > best.VALUE then
        best <- current
  return best.STATE
```

Metode *local search* 'Random Restart Hill-climbing' bekerja dengan logika algoritma seperti *Steepest Ascent Hill-climbing,* hanya saja yang membedakan adalah ketika tidak ada lagi tetangga yang lebih besar dari *state* sekarang, maka iterasi akan dimulai dari awal kembali dengan konfigurasi acak.

Hal ini bertujuan untuk menghindari algoritma terjebak di maksimum lokal dan meningkatkan peluang menemukan solusi global. Meskipun metode ini lebih efektif daripada *Steepest Ascent Hill-climbing* biasa, tetapi *Random Restart Hill-climbing* membutuhkan komputasi lebih rumit karena memerlukan beberapa kali *restart*.

Dalam permasalahan *diagonal magic cube* 5x5x5, implementasi algoritma *Random Restart Hill-Climbing* mampu menghindari hasil maksimum lokal pada penyusunan atau konfigurasi setiap angka penyusun *diagonal magic cube*. Namun, algoritma ini dapat menjadi sangat lambat karena membutuhkan banyak pengulangan percobaan dari posisi acak, terutama jika restart dilakukan sangat sering tapi tidak pernah mendekati solusi yang optimal.

4. Stochastic Hill-climbing:

```
function HILL-CLIMBING(problem) returns a state that is a local maximum
  current <- MAKE-NODE(problem.INITIAL-STATE)
  repeat nmax times
        neighbor <- a random successor of current
        if neighbor.VALUE > current.VALUE then current <- neighbor
  return current.STATE
```

Metode *local search* 'Stochastic Hill-climbing' merupakan metode yang cukup mirip dengan metode *Hill-climbing with Sideways Move*. Hal yang membedakannya adalah jika *Hill-climbing with Sideways Move* hanya bergerak ke tetangga yang terbaik dan memperbolehkan berpindah ke tetangga yang setara, maka *Stochastic Hill-climbing* akan membangkitkan *random successor* secara terus menerus selama proses iterasi. Lalu, akan berpindah ke tetangganya jika tetangganya

lebih baik dari *state* sekarang. Proses iterasi akan dilakukan secara terus menerus sehingga ‘nmax times’ yang dimiliki sudah habis

Implementasi algoritma Stochastic Hill-Climbing mampu memilih langkah acak yang dapat keluar dari jebakan hasil maksimum lokal pada penyusunan atau konfigurasi setiap angka penyusun *diagonal magic cube*. Namun, pendekatan algoritma ini cenderung lambat dan tidak konsisten dalam mencapai solusi yang optimal karena tergantung pada probabilitas akan langkah yang diambil secara acak, seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.

5. Simulated Annealing:

```
function SIMULATED-ANNEALING(problem,schedule) returns a solution state
  inputs: problem, a problem to solve
          schedule, a mapping from time to “temperature”
  current <- MAKE-NODE(problem.INITIAL-STATE)
  for t = 1 to ∞ do
    T <- schedule(t)
    if T = 0 then return current.STATE
    next <- a randomly selected successor of current
    ΔE <- next.VALUE - current.VALUE
    if ΔE > 0 then current <- next
    else
      with probability e^(ΔE/T) do
        current <- next
```

Metode *local search* ‘Simulated Annealing’ merupakan metode pencarian yang menggunakan konsep saat memanaskan sebuah metal atau gelas. Pada metode ini merupakan konsep turunan dari *Stochastic Hill-climbing* yang akan berpindah ke tetangga yang lebih baik jika $\Delta E > 0$. Akan tetapi, hal yang membedakan *Simulated Annealing* adalah ia memiliki probabilitas yang memungkinkan perpindahan ke tetangga yang lebih buruk dengan syarat awal $\Delta E < 0$.

Jika syarat awal terpenuhi, maka akan dihitung probabilitas menggunakan rumus berikut.

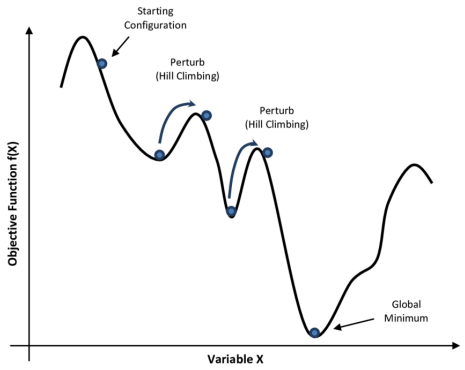
$$e^{\Delta E/T}$$

Gambar 4. Formula Probabilitas Jika $\Delta E < 0$

Keterangan:

ΔE = nilai tetangga - nilai sekarang

T = temperatur yang dapat kita atur sendiri



Gambar 5. Grafik Algoritma Simulated Annealing

Jika hasil probabilitas di atas ambang batas yang telah ditentukan sebelumnya, maka metode ini memperbolehkan perpindahan ke tetangga dengan nilai yang lebih buruk daripada nilai yang sekarang. Metode ini adalah algoritma pencarian terbaik untuk mengatasi masalah terjebaknya di minimum lokal. Akan tetapi, perlu diperhatikan lebih mendalam terkait nilai T dan ambang batas probabilitas yang digunakan.

Algoritma *Simulated Annealing* dapat menjadi sangat efektif dalam menyelesaikan permasalahan *diagonal magic cube* 5x5x5 karena memungkinkan *state* saat ini menuju *neighbour* dengan nilai yang terburuk dengan tujuan untuk dapat menghindari *state* terjebak di maksimum lokal. Meskipun probabilitas kesempatan ini akan menurun seiring waktu, metode ini cukup efektif untuk mendapatkan solusi maksimum global.

Kelemahan algoritma ini adalah dalam pengaturan parameter awal, seperti “suhu” awal dan laju “pendinginan” dari algoritmanya. Kesalahan dalam pengaturan awal dapat menyebabkan algoritma terlalu lambat atau justru gagal dalam menemukan solusi yang optimal. Maka dari itu, perlu diperhatikan lebih lanjut dalam melakukan pengaturan parameter awal “suhu” dan laju “pendinginan” pada algoritma.

6. Genetic Algorithm:

```
function GENETIC-ALGORITHM(problem,FITNESS-FN) returns an individual
  inputs: problem, a set of individuals
          FITNESS-FN, a function that measures the fitness of an individual
  population <- INITIALIZE-POPULATION(problem)
  repeat
```

```
    new_population <- empty set
  for i= 1 to SIZE(population) do
    x <- RANDOM-SELECTION(population, FITNESS-FN)
    y<- RANDOM-SELECTION(population, FITNESS-FN)
    child <- REPRODUCE(x,y)
    if (small random probability) then child <- MUTATE(child)
    add child to new_population
  population <- new_population
until some individuals is fit enough, or enough time has elapsed
return the best individual in population, according to FITNESS-FN
```

Metode *local search* 'Genetic Algorithm' adalah metode pencarian yang memiliki kompleksitas dan kerumitan yang cukup tinggi. Tahapan dalam metode pencarian ini menggunakan prinsip seleksi alam, yakni seleksi, *cross over,* dan mutasi. Metode pencarian ini dimulai dengan inisialisasi beberapa *state* awal (populasi) dari masalah yang ada. Lalu, beberapa *state* awal tersebut dihitung *fitness function* (sama seperti fungsi objektif) sehingga mendapatkan persentase yang dimiliki dari masing-masing *state*.

Lalu, dilakukan *random selection* menggunakan prinsip *roulette wheel*. Pasangan yang terpilih akan dilakukan *crossover* yang bertujuan untuk menukar bagian-bagian dari masing-masing pasangan (bagian yang dibagi tersebut bebas sesuai yang diinginkan). Jika proses *crossover* telah selesai, akan dilakukan *random mutation point* yang akan mengubah nilai beberapa titik menjadi baru.

Proses tersebut akan diulang terus menerus sehingga mendapatkan hasil yang ideal dan/atau waktu yang dimiliki sudah habis. Penggunaan metode ini dapat mengeksplorasi ruang pencarian yang sangat luas, tetapi membutuhkan langkah yang rumit dan kompleks untuk dilakukan perhitungan, serta penyesuaian parameter, seperti ukuran populasi, laju mutasi, dan bagian yang dilakukan *crossover*. Oleh karena itu, metode ini cukup efektif untuk mencari masalah dalam skala besar dan tidak efektif untuk mencari solusi dari masalah dengan skala kecil.

Dalam menyelesaikan permasalahan *diagonal magic cube*, algoritma ini mampu menjelajahi ruang solusi yang lebih besar dan menghindari maksimum lokal. Namun, algoritma ini memerlukan banyak evaluasi individu yang tentunya memakan waktu yang lama dan performanya sangat bergantung pada desain operator pada proses seleksi, mutasi, dan *crossover*. Terlebih lagi, kompleksitas algoritma ini sangat tidak efisien diterapkan pada *diagonal magic cube* 5x5x5 yang memiliki banyak sekali kemungkinan konfigurasi solusi.

III. Hasil Eksperimen dan Analisis

Pada bagian ini akan diberikan hasil eksperimen dan analisis dari 6 metode search yang sudah didefinisikan sebelumnya. Diberikan juga visualisasi dari program yang telah dibuat untuk memudahkan proses analisis.

III.1 Hasil Eksperimen

Secara umum, hasil eksperimen akan menampilkan beberapa poin berikut:

- State awal dan akhir dari kubus
- Nilai objective function akhir yang dicapai
- Plot nilai objective function terhadap banyak iterasi yang telah dilewati
- Durasi proses pencarian

Namun, terdapat beberapa metode yang akan menampilkan penjelasan tambahan untuk membantu dalam proses analisisnya. Berikut adalah hasil eksperimen dari setiap metode yang dianalisis:

1. Steepest Ascent Hill-climbing

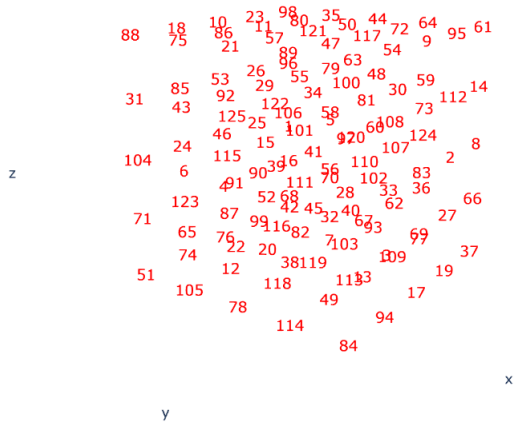
Metode Steepest Ascent Hill-climbing dimulai dengan membuat sebuah cube yang berisikan angka acak. Lalu, akan dilakukan proses penukaran tiap nilai di dalamnya yang sesuai dengan penjelasan bagian II.2.1. Proses akan terus berlangsung hingga tidak ada lagi *neighbor value* yang lebih baik daripada *current value*.

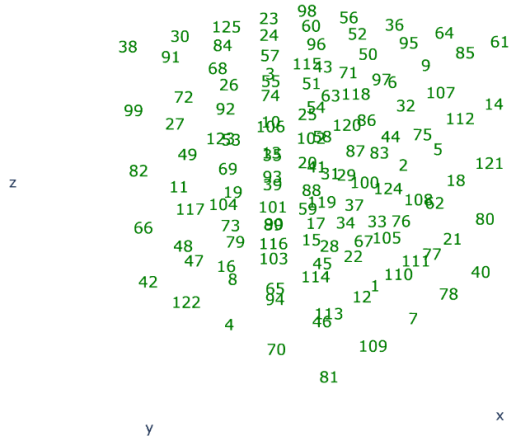
Lalu, program akan memberikan kondisi terminate berupa nilai cube (kondisi cube akhir), iterationSum (jumlah iterasi terjadi hingga proses pencarian berhenti), duration (durasi waktu yang terjadi dalam proses pencarian), dan plot nilai fungsi objektif terhadap banyak iterasi yang telah dilewati.

Berikut adalah hasil percobaan menggunakan metode Steepest Ascent Hill-climbing:

Percobaan 1

State Awal Cube	State Akhir Cube





Sisi ke sumbu x

```
----- Sisi ke- 1 ------

42 |16 |106 |96 |98 |
32 |56 |5 |79 |35 |
93 |102 |60 |48 |44 |
77 |36 |124 |59 |64 |
37 |66 |8 |14 |61 |

----- Sisi ke- 2 ------

99 |90 |25 |26 |23 |
82 |111 |101 |55 |80 |
103 |28 |97 |100 |50 |
109 |62 |107 |30 |72 |
19 |27 |2 |112 |95 |

----- Sisi ke- 3 ------

76 |4 |46 |53 |10 |
20 |52 |15 |29 |11 |
119 |45 |41 |34 |121 |
13 |67 |110 |81 |117 |
17 |69 |83 |73 |9 |

----- Sisi ke- 4 ------

74 |123 |24 |85 |18 |
12 |87 |115 |92 |86 |
118 |116 |39 |122 |57 |
49 |7 |70 |58 |47 |
94 |3 |33 |108 |54 |

----- Sisi ke- 5 ------

51 |71 |104 |31 |88 |
105 |65 |6 |43 |75 |
78 |22 |91 |125 |21 |
114 |38 |68 |1 |89 |
84 |113 |40 |120 |63 |
```

Sisi ke sumbu y

```
----- Sisi ke- 1 ------

42 |32 |93 |77 |37 |
99 |82 |103 |109 |19 |
76 |20 |119 |13 |17 |
74 |12 |118 |49 |94 |
51 |105 |78 |114 |84 |

----- Sisi ke- 2 ------

16 |56 |102 |36 |66 |
90 |111 |28 |62 |27 |
4 |52 |45 |67 |69 |
123 |87 |116 |7 |3 |
71 |65 |22 |38 |113 |

----- Sisi ke- 3 ------

106 |5 |60 |124 |8 |
25 |101 |97 |107 |2 |
46 |15 |41 |110 |83 |
24 |115 |39 |70 |33 |
104 |6 |91 |68 |40 |

----- Sisi ke- 4 ------

96 |79 |48 |59 |14 |
26 |55 |100 |30 |112 |
53 |29 |34 |81 |73 |
85 |92 |122 |58 |108 |
31 |43 |125 |1 |120 |

----- Sisi ke- 5 ------

98 |35 |44 |64 |61 |
23 |80 |50 |72 |95 |
10 |11 |121 |117 |9 |
18 |86 |57 |47 |54 |
88 |75 |21 |89 |63 |
```

Sisi ke sumbu z

```
----- Sisi ke- 1 ------

42 |99 |76 |74 |51 |
16 |90 |4 |123 |71 |
106 |25 |46 |24 |104 |
96 |26 |53 |85 |31 |
98 |23 |10 |18 |88 |

----- Sisi ke- 2 ------

32 |82 |20 |12 |105 |
56 |111 |52 |87 |65 |
5 |101 |15 |115 |6 |
79 |55 |29 |92 |43 |
35 |80 |11 |86 |75 |

----- Sisi ke- 3 ------

93 |103 |119 |118 |78 |
102 |28 |45 |116 |22 |
60 |97 |41 |39 |91 |
48 |100 |34 |122 |125 |
44 |50 |121 |57 |21 |

----- Sisi ke- 4 ------

77 |109 |13 |49 |114 |
36 |62 |67 |7 |38 |
124 |107 |110 |70 |68 |
59 |30 |81 |58 |1 |
64 |72 |117 |47 |89 |

----- Sisi ke- 5 ------

37 |19 |17 |94 |84 |
66 |27 |69 |3 |113 |
8 |2 |83 |33 |40 |
14 |112 |73 |108 |120 |
61 |95 |9 |54 |63 |
```

Sisi ke sumbu x

```
----- Sisi ke- 1 ------

59 |20 |25 |115 |98 |
34 |29 |120 |71 |56 |
105 |124 |44 |6 |36 |
77 |62 |5 |107 |64 |
40 |80 |121 |14 |61 |

----- Sisi ke- 2 ------

89 |93 |106 |3 |23 |
15 |88 |102 |51 |60 |
22 |37 |87 |118 |52 |
110 |76 |2 |32 |95 |
78 |21 |18 |112 |85 |

----- Sisi ke- 3 ------

79 |19 |53 |26 |125 |
103 |101 |13 |74 |24 |
114 |17 |41 |54 |96 |
12 |67 |100 |86 |50 |
7 |111 |108 |75 |9 |

----- Sisi ke- 4 ------

47 |117 |49 |72 |30 |
8 |73 |69 |92 |84 |
94 |116 |39 |10 |57 |
46 |45 |119 |58 |43 |
109 |1 |33 |83 |97 |

----- Sisi ke- 5 ------

42 |66 |82 |99 |38 |
122 |48 |11 |27 |91 |
4 |16 |104 |123 |68 |
70 |65 |90 |35 |55 |
81 |113 |28 |31 |63 |
```

Sisi ke sumbu y

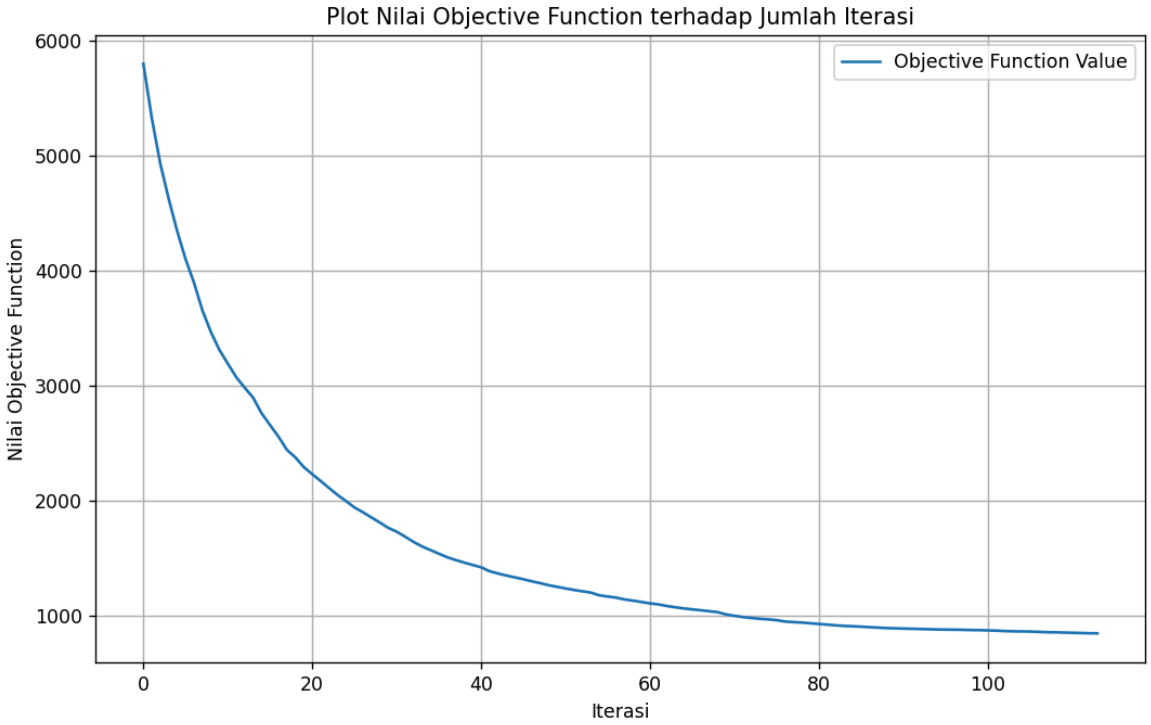
```
----- Sisi ke- 1 ------

59 |34 |105 |77 |40 |
89 |15 |22 |110 |78 |
79 |103 |114 |12 |7 |
47 |8 |94 |46 |109 |
42 |122 |4 |70 |81 |

----- Sisi ke- 2 ------

20 |29 |124 |62 |80 |
93 |88 |37 |76 |21 |
19 |101 |17 |67 |111 |
117 |73 |116 |45 |1 |
66 |48 |16 |65 |113 |

----- Sisi ke- 3 ------

25 |120 |44 |5 |121 |
106 |102 |87 |2 |18 |
53 |13 |41 |100 |108 |
49 |69 |39 |119 |33 |
82 |11 |104 |90 |28 |

----- Sisi ke- 4 ------

115 |71 |6 |107 |14 |
3 |51 |118 |32 |112 |
26 |74 |54 |86 |75 |
72 |92 |10 |58 |83 |
99 |27 |123 |35 |31 |

----- Sisi ke- 5 ------

98 |56 |36 |64 |61 |
23 |60 |52 |95 |85 |
125 |24 |96 |50 |9 |
30 |84 |57 |43 |97 |
38 |91 |68 |55 |63 |
```

Sisi ke sumbu z

```
----- Sisi ke- 1 ------

59 |89 |79 |47 |42 |
20 |93 |19 |117 |66 |
25 |106 |53 |49 |82 |
115 |3 |26 |72 |99 |
98 |23 |125 |30 |38 |

----- Sisi ke- 2 ------

34 |15 |103 |8 |122 |
29 |88 |101 |73 |48 |
120 |102 |13 |69 |11 |
71 |51 |74 |92 |27 |
56 |60 |24 |84 |91 |

----- Sisi ke- 3 ------

105 |22 |114 |94 |4 |
124 |37 |17 |116 |16 |
44 |87 |41 |39 |104 |
6 |118 |54 |10 |123 |
36 |52 |96 |57 |68 |

----- Sisi ke- 4 ------

77 |110 |12 |46 |70 |
62 |76 |67 |45 |65 |
5 |2 |100 |119 |90 |
107 |32 |86 |58 |35 |
64 |95 |50 |43 |55 |

----- Sisi ke- 5 ------

40 |78 |7 |109 |81 |
80 |21 |111 |1 |113 |
121 |18 |108 |33 |28 |
14 |112 |75 |83 |31 |
61 |85 |9 |97 |63 |
```

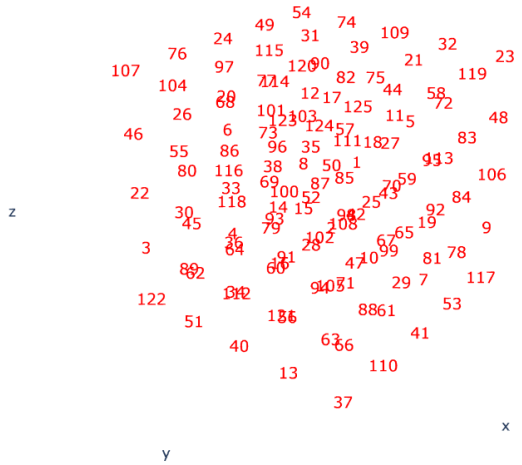
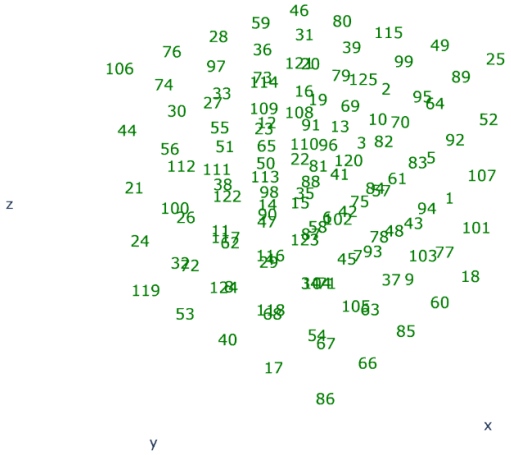
Nilai Objective Function Awal: 5798	Nilai Objective Function Akhir: 842

Plot nilai objective function:



Banyak iterasi yang dilakukan: 113 iterasi
Durasi proses pencarian: 93609 ms

Percobaan 2

State Awal Cube	State Akhir Cube
	

Sisi ke sumbu x

----- Sisi ke- 1 -----

15 |8 |103 |120 |54 |
108 |85 |57 |82 |74 |
67 |43 |27 |44 |109 |
81 |92 |113 |72 |32 |
117 |9 |106 |48 |23 |

----- Sisi ke- 2 -----

79 |69 |73 |77 |49 |
28 |52 |35 |12 |31 |
47 |42 |1 |125 |39 |
29 |65 |59 |5 |21 |
53 |78 |84 |83 |119 |

----- Sisi ke- 3 -----

64 |118 |86 |20 |24 |
60 |93 |38 |101 |115 |
94 |102 |87 |124 |90 |
88 |10 |25 |18 |75 |
41 |7 |19 |95 |58 |

----- Sisi ke- 4 -----

62 |45 |80 |26 |76 |
112 |36 |33 |6 |97 |
121 |16 |14 |96 |114 |
63 |105 |2 |50 |17 |
110 |61 |99 |70 |11 |

----- Sisi ke- 5 -----

122 |3 |22 |46 |107 |
51 |89 |30 |55 |104 |
40 |34 |4 |116 |68 |
13 |56 |91 |100 |123 |
37 |66 |71 |98 |111 |

Sisi ke sumbu y

----- Sisi ke- 1 -----

15 |108 |67 |81 |117 |
79 |28 |47 |29 |53 |
64 |60 |94 |88 |41 |
62 |112 |121 |63 |110 |
122 |51 |40 |13 |37 |

----- Sisi ke- 2 -----

8 |85 |43 |92 |9 |
69 |52 |42 |65 |78 |
118 |93 |102 |10 |7 |
45 |36 |16 |105 |61 |
3 |89 |34 |56 |66 |

----- Sisi ke- 3 -----

103 |57 |27 |113 |106 |
73 |35 |1 |59 |84 |
86 |38 |87 |25 |19 |
80 |33 |14 |2 |99 |
22 |30 |4 |91 |71 |

----- Sisi ke- 4 -----

120 |82 |44 |72 |48 |
77 |12 |125 |5 |83 |
20 |101 |124 |18 |95 |
26 |6 |96 |50 |70 |
46 |55 |116 |100 |98 |

----- Sisi ke- 5 -----

54 |74 |109 |32 |23 |
49 |31 |39 |21 |119 |
24 |115 |90 |75 |58 |
76 |97 |114 |17 |11 |
107 |104 |68 |123 |111 |

Sisi ke sumbu z

----- Sisi ke- 1 -----

15 |79 |64 |62 |122 |
8 |69 |118 |45 |3 |
103 |73 |86 |80 |22 |
120 |77 |20 |26 |46 |
54 |49 |24 |76 |107 |

----- Sisi ke- 2 -----

108 |28 |60 |112 |51 |
85 |52 |93 |36 |89 |
57 |35 |38 |33 |30 |
82 |12 |101 |6 |55 |
74 |31 |115 |97 |104 |

----- Sisi ke- 3 -----

67 |47 |94 |121 |40 |
43 |42 |102 |16 |34 |
27 |1 |87 |14 |4 |
44 |125 |124 |96 |116 |
109 |39 |90 |114 |68 |

----- Sisi ke- 4 -----

81 |29 |88 |63 |13 |
92 |65 |10 |105 |56 |
113 |59 |25 |2 |91 |
72 |5 |18 |50 |100 |
32 |21 |75 |17 |123 |

----- Sisi ke- 5 -----

117 |53 |41 |110 |37 |
9 |78 |7 |61 |66 |
106 |84 |19 |99 |71 |
48 |83 |95 |70 |98 |
23 |119 |58 |11 |111 |

Sisi ke sumbu x

----- Sisi ke- 1 -----

15 |22 |108 |121 |46 |
102 |41 |13 |79 |80 |
78 |57 |82 |2 |115 |
103 |94 |5 |64 |49 |
18 |101 |107 |52 |25 |

----- Sisi ke- 2 -----

47 |113 |23 |73 |59 |
123 |35 |110 |16 |31 |
45 |42 |120 |69 |39 |
37 |48 |61 |70 |99 |
60 |77 |1 |92 |89 |

----- Sisi ke- 3 -----

62 |122 |51 |33 |28 |
29 |90 |50 |109 |36 |
34 |87 |88 |91 |20 |
105 |7 |75 |3 |125 |
85 |9 |43 |83 |95 |

----- Sisi ke- 4 -----

72 |26 |112 |30 |76 |
8 |117 |38 |55 |97 |
118 |4 |14 |65 |114 |
54 |104 |58 |81 |19 |
66 |63 |93 |84 |10 |

----- Sisi ke- 5 -----

119 |24 |21 |44 |106 |
53 |32 |100 |56 |74 |
40 |124 |11 |111 |27 |
17 |68 |116 |98 |12 |
86 |67 |71 |6 |96 |

Sisi ke sumbu y

----- Sisi ke- 1 -----

15 |102 |78 |103 |18 |
47 |123 |45 |37 |60 |
62 |29 |34 |105 |85 |
72 |8 |118 |54 |66 |
119 |53 |40 |17 |86 |

----- Sisi ke- 2 -----

22 |41 |57 |94 |101 |
113 |35 |42 |48 |77 |
122 |90 |87 |7 |9 |
26 |117 |4 |104 |63 |
24 |32 |124 |68 |67 |

----- Sisi ke- 3 -----

108 |13 |82 |5 |107 |
23 |110 |120 |61 |1 |
51 |50 |88 |75 |43 |
112 |38 |14 |58 |93 |
21 |100 |11 |116 |71 |

----- Sisi ke- 4 -----

121 |79 |2 |64 |52 |
73 |16 |69 |70 |92 |
33 |109 |91 |3 |83 |
30 |55 |65 |81 |84 |
44 |56 |111 |98 |6 |

----- Sisi ke- 5 -----

46 |80 |115 |49 |25 |
59 |31 |39 |99 |89 |
28 |36 |20 |125 |95 |
76 |97 |114 |19 |10 |
106 |74 |27 |12 |96 |

Sisi ke sumbu z

----- Sisi ke- 1 -----

15 |47 |62 |72 |119 |
22 |113 |122 |26 |24 |
108 |23 |51 |112 |21 |
121 |73 |33 |30 |44 |
46 |59 |28 |76 |106 |

----- Sisi ke- 2 -----

102 |123 |29 |8 |53 |
41 |35 |90 |117 |32 |
13 |110 |50 |38 |100 |
79 |16 |109 |55 |56 |
80 |31 |36 |97 |74 |

----- Sisi ke- 3 -----

78 |45 |34 |118 |40 |
57 |42 |87 |4 |124 |
82 |120 |88 |14 |11 |
2 |69 |91 |65 |111 |
115 |39 |20 |114 |27 |

----- Sisi ke- 4 -----

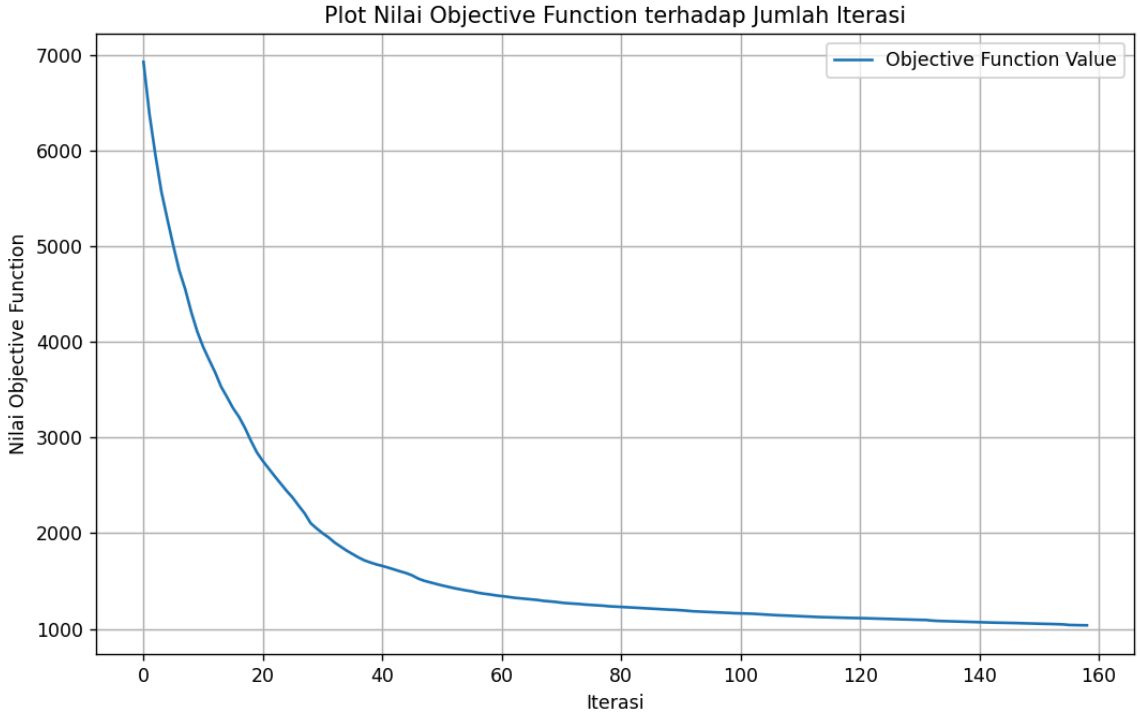
103 |37 |105 |54 |17 |
94 |48 |7 |104 |68 |
5 |61 |75 |58 |116 |
64 |70 |3 |81 |98 |
49 |99 |125 |19 |12 |

----- Sisi ke- 5 -----

18 |60 |85 |66 |86 |
101 |77 |9 |63 |67 |
107 |1 |43 |93 |71 |
52 |92 |83 |84 |6 |
25 |89 |95 |10 |96 |

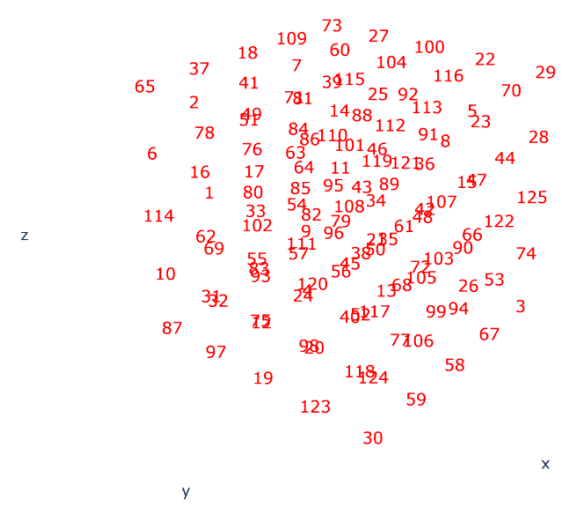
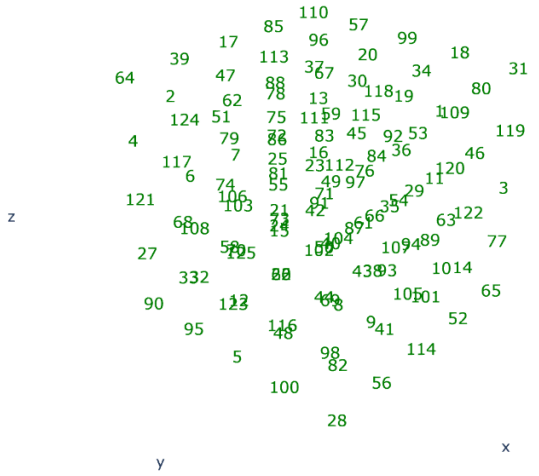
Nilai Objective Function Awal: 6928	Nilai Objective Function Akhir: 1037

Plot nilai objective function:



Banyak iterasi yang dilakukan: 158
Durasi proses pencarian: 129134 ms

Percobaan 3

State Awal Cube	State Akhir Cube
	

Sisi ke sumbu x

```
----- Sisi ke- 1 ------
96 |95 |110 |39 |73 |
50 |34 |46 |25 |27 |
72 |48 |36 |113 |100 |
26 |66 |47 |23 |22 |
3 |74 |125 |28 |29 |

----- Sisi ke- 2 ------
57 |54 |63 |71 |109 |
56 |79 |11 |14 |60 |
13 |35 |89 |112 |104 |
99 |103 |107 |8 |116 |
67 |53 |122 |44 |70 |

----- Sisi ke- 3 ------
93 |102 |17 |49 |18 |
24 |111 |85 |84 |7 |
40 |45 |108 |101 |115 |
77 |68 |61 |121 |92 |
58 |94 |90 |15 |5 |

----- Sisi ke- 4 ------
32 |69 |1 |78 |37 |
12 |83 |33 |76 |41 |
98 |4 |9 |64 |81 |
118 |52 |38 |43 |88 |
59 |106 |105 |42 |91 |

----- Sisi ke- 5 ------
87 |10 |114 |6 |65 |
97 |31 |62 |16 |2 |
19 |75 |55 |80 |51 |
123 |20 |120 |82 |86 |
30 |124 |117 |21 |119 |
```

Sisi ke sumbu y

```
----- Sisi ke- 1 ------
96 |50 |72 |26 |3 |
57 |56 |13 |99 |67 |
93 |24 |40 |77 |58 |
32 |12 |98 |118 |59 |
87 |97 |19 |123 |30 |

----- Sisi ke- 2 ------
95 |34 |48 |66 |74 |
54 |79 |35 |103 |53 |
102 |111 |45 |68 |94 |
69 |83 |4 |52 |106 |
10 |31 |75 |20 |124 |

----- Sisi ke- 3 ------
110 |46 |36 |47 |125 |
63 |11 |89 |107 |122 |
17 |85 |108 |61 |90 |
1 |33 |9 |38 |105 |
114 |62 |55 |120 |117 |

----- Sisi ke- 4 ------
39 |25 |113 |23 |28 |
71 |14 |112 |8 |44 |
49 |84 |101 |121 |15 |
78 |76 |64 |43 |42 |
6 |16 |80 |82 |21 |

----- Sisi ke- 5 ------
73 |27 |100 |22 |29 |
109 |60 |104 |116 |70 |
18 |7 |115 |92 |5 |
37 |41 |81 |88 |91 |
65 |2 |51 |86 |119 |
```

Sisi ke sumbu z

```
----- Sisi ke- 1 ------
96 |57 |93 |32 |87 |
95 |54 |102 |69 |10 |
110 |63 |17 |1 |114 |
39 |71 |49 |78 |6 |
73 |109 |18 |37 |65 |

----- Sisi ke- 2 ------
50 |56 |24 |12 |97 |
34 |79 |111 |83 |31 |
46 |11 |85 |33 |62 |
25 |14 |84 |76 |16 |
27 |60 |7 |41 |2 |

----- Sisi ke- 3 ------
72 |13 |40 |98 |19 |
48 |35 |45 |4 |75 |
36 |89 |108 |9 |55 |
113 |112 |101 |64 |80 |
100 |104 |115 |81 |51 |

----- Sisi ke- 4 ------
26 |99 |77 |118 |123 |
66 |103 |68 |52 |20 |
47 |107 |61 |38 |120 |
23 |8 |121 |43 |82 |
22 |116 |92 |88 |86 |

----- Sisi ke- 5 ------
3 |67 |58 |59 |30 |
74 |53 |94 |106 |124 |
125 |122 |90 |105 |117 |
28 |44 |15 |42 |21 |
29 |70 |5 |91 |119 |
```

Sisi ke sumbu x

```
----- Sisi ke- 1 ------
42 |23 |111 |37 |110 |
87 |97 |45 |30 |57 |
107 |54 |36 |19 |99 |
10 |63 |120 |109 |18 |
65 |77 |3 |119 |31 |

----- Sisi ke- 2 ------
15 |55 |72 |88 |85 |
102 |91 |16 |13 |96 |
43 |61 |76 |115 |20 |
105 |94 |29 |53 |34 |
52 |14 |122 |46 |80 |

----- Sisi ke- 3 ------
125 |103 |7 |62 |17 |
22 |24 |81 |75 |113 |
44 |50 |71 |83 |67 |
9 |38 |66 |84 |118 |
114 |101 |89 |11 |1 |

----- Sisi ke- 4 ------
32 |108 |6 |124 |39 |
12 |70 |106 |79 |47 |
116 |26 |73 |25 |78 |
98 |69 |40 |49 |59 |
56 |41 |93 |35 |92 |

----- Sisi ke- 5 ------
90 |27 |121 |4 |64 |
95 |33 |68 |117 |2 |
5 |123 |58 |74 |51 |
100 |48 |60 |21 |86 |
28 |82 |8 |104 |112 |
```

Sisi ke sumbu y

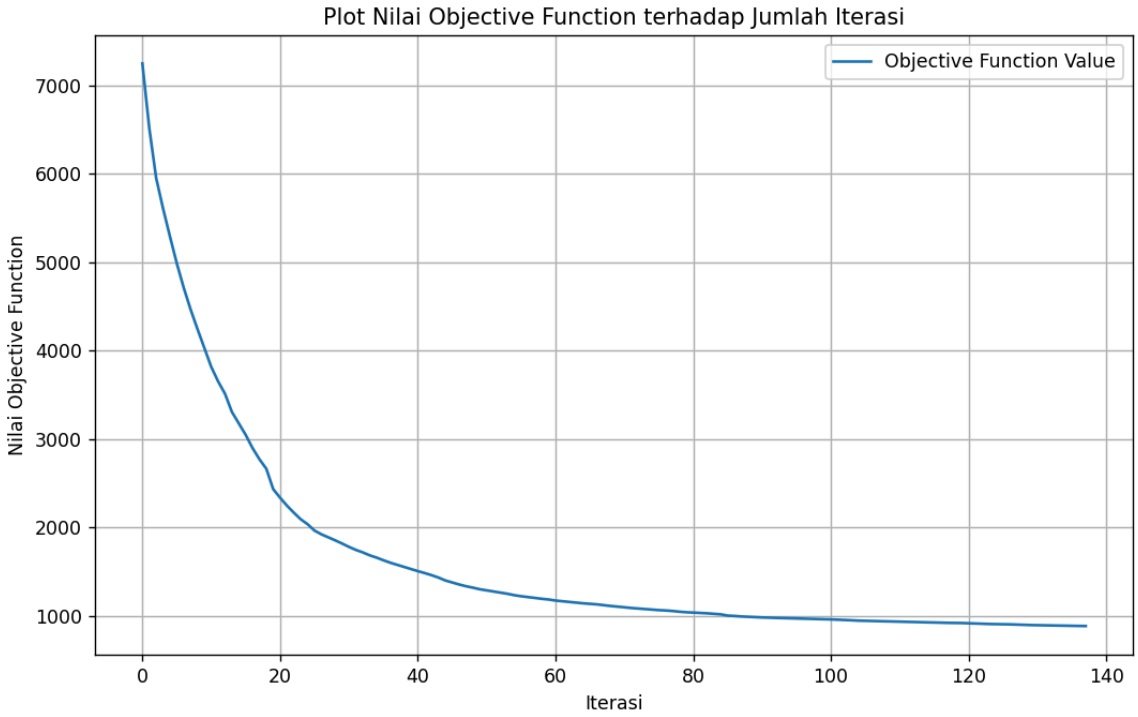
```
----- Sisi ke- 1 ------
42 |87 |107 |10 |65 |
15 |102 |43 |105 |52 |
125 |22 |44 |9 |114 |
32 |12 |116 |98 |56 |
90 |95 |5 |100 |28 |

----- Sisi ke- 2 ------
23 |97 |54 |63 |77 |
55 |91 |61 |94 |14 |
103 |24 |50 |38 |101 |
108 |70 |26 |69 |41 |
27 |33 |123 |48 |82 |

----- Sisi ke- 3 ------
111 |45 |36 |120 |3 |
72 |16 |76 |29 |122 |
7 |81 |71 |66 |89 |
6 |106 |73 |40 |93 |
121 |68 |58 |60 |8 |

----- Sisi ke- 4 ------
37 |30 |19 |109 |119 |
88 |13 |115 |53 |46 |
62 |75 |83 |84 |11 |
124 |79 |25 |49 |35 |
4 |117 |74 |21 |104 |

----- Sisi ke- 5 ------
110 |57 |99 |18 |31 |
85 |96 |20 |34 |80 |
17 |113 |67 |118 |1 |
39 |47 |78 |59 |92 |
64 |2 |51 |86 |112 |
```

Sisi ke sumbu z

```
----- Sisi ke- 1 ------
42 |15 |125 |32 |90 |
23 |55 |103 |108 |27 |
111 |72 |7 |6 |121 |
37 |88 |62 |124 |4 |
110 |85 |17 |39 |64 |

----- Sisi ke- 2 ------
87 |102 |22 |12 |95 |
97 |91 |24 |70 |33 |
45 |16 |81 |106 |68 |
30 |13 |75 |79 |117 |
57 |96 |113 |47 |2 |

----- Sisi ke- 3 ------
107 |43 |44 |116 |5 |
54 |61 |50 |26 |123 |
36 |76 |71 |73 |58 |
19 |115 |83 |25 |74 |
99 |20 |67 |78 |51 |

----- Sisi ke- 4 ------
10 |105 |9 |98 |100 |
63 |94 |38 |69 |48 |
120 |29 |66 |40 |60 |
109 |53 |84 |49 |21 |
18 |34 |118 |59 |86 |

----- Sisi ke- 5 ------
65 |52 |114 |56 |28 |
77 |14 |101 |41 |82 |
3 |122 |89 |93 |8 |
119 |46 |11 |35 |104 |
31 |80 |1 |92 |112 |
```

Nilai Objective Function Awal: 7250	Nilai Objective Function Akhir: 888

Plot nilai objective function:



Banyak iterasi yang dilakukan: 137 iterasi
Durasi proses pencarian: 110954 ms

2. Hill-climbing with Sideways Move

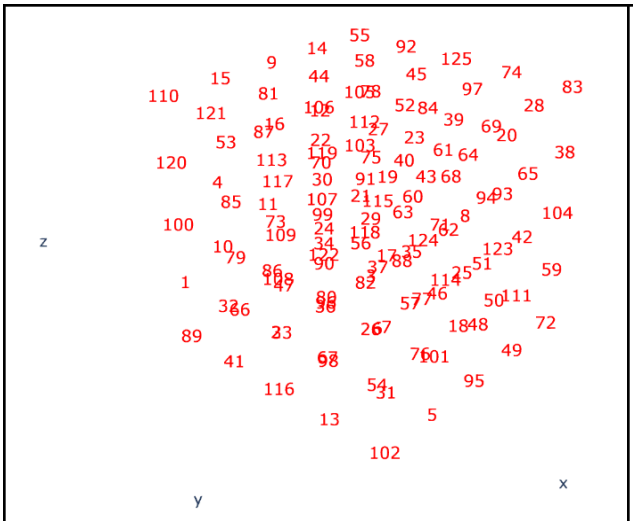
Metode Hill-climbing with Sideways Move dimulai dengan membuat sebuah cube yang berisikan angka acak. Pada metode ini akan menggunakan parameter maxSideways yang akan menjadi batas maksimum untuk menukar nilai *neighbor* yang sama dengan *current value*. Parameter tersebut juga dapat dimasukkan ketika menjalankan program melalui CLI. Lalu, akan dilakukan proses penukaran tiap nilai di dalamnya yang sesuai dengan penjelasan bagian II.2.2.

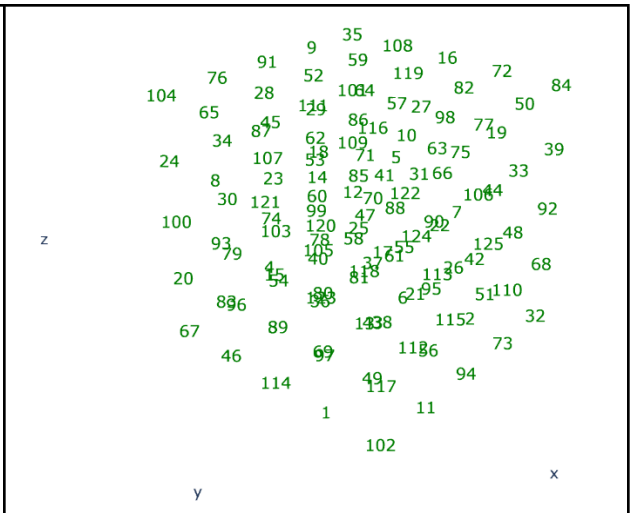
Proses akan terus berlangsung hingga max iterasi telah didapatkan dan/atau max sideways move juga didapatkan. Lalu, akan diberikan kondisi terminate berupa nilai cube (kondisi cube akhir), iterationSum (jumlah iterasi terjadi hingga proses pencarian berhenti), duration (durasi waktu yang terjadi dalam proses pencarian), dan plot nilai fungsi objektif terhadap banyak iterasi yang telah dilewati.

Pada percobaan ini akan dilakukan maksimum sideways move sebesar 10. Berikut adalah hasil percobaan menggunakan metode Hill-climbing with Sideways Move:

Percobaan 1

State Awal Cube	State Akhir Cube





Sisi ke sumbu x

----- Sisi ke- 1 ------

56 |21 |103 |105 |55 |
88 |63 |40 |52 |92 |
114 |62 |68 |39 |125 |
50 |123 |93 |20 |74 |
72 |59 |104 |38 |83 |

----- Sisi ke- 2 ------

90 |99 |70 |106 |14 |
82 |118 |91 |112 |58 |
57 |35 |60 |23 |45 |
18 |25 |8 |64 |97 |
49 |111 |42 |65 |28 |

----- Sisi ke- 3 ------

47 |109 |117 |16 |9 |
36 |122 |107 |22 |44 |
26 |3 |29 |75 |78 |
76 |77 |124 |43 |84 |
95 |48 |51 |94 |69 |

----- Sisi ke- 4 ------

66 |79 |85 |53 |15 |
33 |108 |73 |113 |81 |
67 |96 |34 |30 |12 |
54 |6 |37 |115 |27 |
5 |101 |46 |71 |61 |

----- Sisi ke- 5 ------

89 |1 |100 |120 |110 |
41 |32 |10 |4 |121 |
116 |2 |86 |11 |87 |
13 |98 |80 |24 |119 |
102 |31 |7 |17 |19 |

Sisi ke sumbu y

----- Sisi ke- 1 ------

56 |88 |114 |50 |72 |
90 |82 |57 |18 |49 |
47 |36 |26 |76 |95 |
66 |33 |67 |54 |5 |
89 |41 |116 |13 |102 |

----- Sisi ke- 2 ------

21 |63 |62 |123 |59 |
99 |118 |35 |25 |111 |
109 |122 |3 |77 |48 |
79 |108 |96 |6 |101 |
1 |32 |2 |98 |31 |

----- Sisi ke- 3 ------

103 |40 |68 |93 |104 |
70 |91 |60 |8 |42 |
117 |107 |29 |124 |51 |
85 |73 |34 |37 |46 |
100 |10 |86 |80 |7 |

----- Sisi ke- 4 ------

105 |52 |39 |20 |38 |
106 |112 |23 |64 |65 |
16 |22 |75 |43 |94 |
53 |113 |30 |115 |71 |
120 |4 |11 |24 |17 |

----- Sisi ke- 5 ------

55 |92 |125 |74 |83 |
14 |58 |45 |97 |28 |
9 |44 |78 |84 |69 |
15 |81 |12 |27 |61 |
110 |121 |87 |119 |19 |

Sisi ke sumbu z

----- Sisi ke- 1 ------

56 |90 |47 |66 |89 |
21 |99 |109 |79 |1 |
103 |70 |117 |85 |100 |
105 |106 |16 |53 |120 |
55 |14 |9 |15 |110 |

----- Sisi ke- 2 ------

88 |82 |36 |33 |41 |
63 |118 |122 |108 |32 |
40 |91 |107 |73 |10 |
52 |112 |22 |113 |4 |
92 |58 |44 |81 |121 |

----- Sisi ke- 3 ------

114 |57 |26 |67 |116 |
62 |35 |3 |96 |2 |
68 |60 |29 |34 |86 |
39 |23 |75 |30 |11 |
125 |45 |78 |12 |87 |

----- Sisi ke- 4 ------

50 |18 |76 |54 |13 |
123 |25 |77 |6 |98 |
93 |8 |124 |37 |80 |
20 |64 |43 |115 |24 |
74 |97 |84 |27 |119 |

----- Sisi ke- 5 ------

72 |49 |95 |5 |102 |
59 |111 |48 |101 |31 |
104 |42 |51 |46 |7 |
38 |65 |94 |71 |17 |
83 |28 |69 |61 |19 |

Sisi ke sumbu x

----- Sisi ke- 1 ------

58 |12 |109 |101 |35 |
61 |88 |5 |57 |108 |
113 |22 |66 |98 |16 |
51 |125 |44 |19 |72 |
32 |68 |92 |39 |84 |

----- Sisi ke- 2 ------

40 |99 |53 |111 |9 |
81 |25 |85 |86 |59 |
6 |55 |122 |10 |119 |
115 |26 |7 |75 |82 |
73 |110 |48 |33 |50 |

----- Sisi ke- 3 ------

54 |103 |23 |45 |91 |
36 |105 |60 |62 |52 |
13 |118 |47 |71 |64 |
112 |21 |124 |31 |27 |
94 |2 |42 |106 |77 |

----- Sisi ke- 4 ------

96 |79 |30 |34 |76 |
89 |15 |74 |107 |28 |
69 |123 |78 |14 |29 |
49 |43 |37 |70 |116 |
11 |56 |95 |90 |63 |

----- Sisi ke- 5 ------

67 |20 |100 |24 |104 |
46 |83 |93 |8 |65 |
114 |3 |4 |121 |87 |
1 |97 |80 |120 |18 |
102 |117 |38 |17 |41 |

Sisi ke sumbu y

----- Sisi ke- 1 ------

58 |61 |113 |51 |32 |
40 |81 |6 |115 |73 |
54 |36 |13 |112 |94 |
96 |89 |69 |49 |11 |
67 |46 |114 |1 |102 |

----- Sisi ke- 2 ------

12 |88 |22 |125 |68 |
99 |25 |55 |26 |110 |
103 |105 |118 |21 |2 |
79 |15 |123 |43 |56 |
20 |83 |3 |97 |117 |

----- Sisi ke- 3 ------

109 |5 |66 |44 |92 |
53 |85 |122 |7 |48 |
23 |60 |47 |124 |42 |
30 |74 |78 |37 |95 |
100 |93 |4 |80 |38 |

----- Sisi ke- 4 ------

101 |57 |98 |19 |39 |
111 |86 |10 |75 |33 |
45 |62 |71 |31 |106 |
34 |107 |14 |70 |90 |
24 |8 |121 |120 |17 |

----- Sisi ke- 5 ------

35 |108 |16 |72 |84 |
9 |59 |119 |82 |50 |
91 |52 |64 |27 |77 |
76 |28 |29 |116 |63 |
104 |65 |87 |18 |41 |

Sisi ke sumbu z

----- Sisi ke- 1 ------

58 |40 |54 |96 |67 |
12 |99 |103 |79 |20 |
109 |53 |23 |30 |100 |
101 |111 |45 |34 |24 |
35 |9 |91 |76 |104 |

----- Sisi ke- 2 ------

61 |81 |36 |89 |46 |
88 |25 |105 |15 |83 |
5 |85 |60 |74 |93 |
57 |86 |62 |107 |8 |
108 |59 |52 |28 |65 |

----- Sisi ke- 3 ------

113 |6 |13 |69 |114 |
22 |55 |118 |123 |3 |
66 |122 |47 |78 |4 |
98 |10 |71 |14 |121 |
16 |119 |64 |29 |87 |

----- Sisi ke- 4 ------

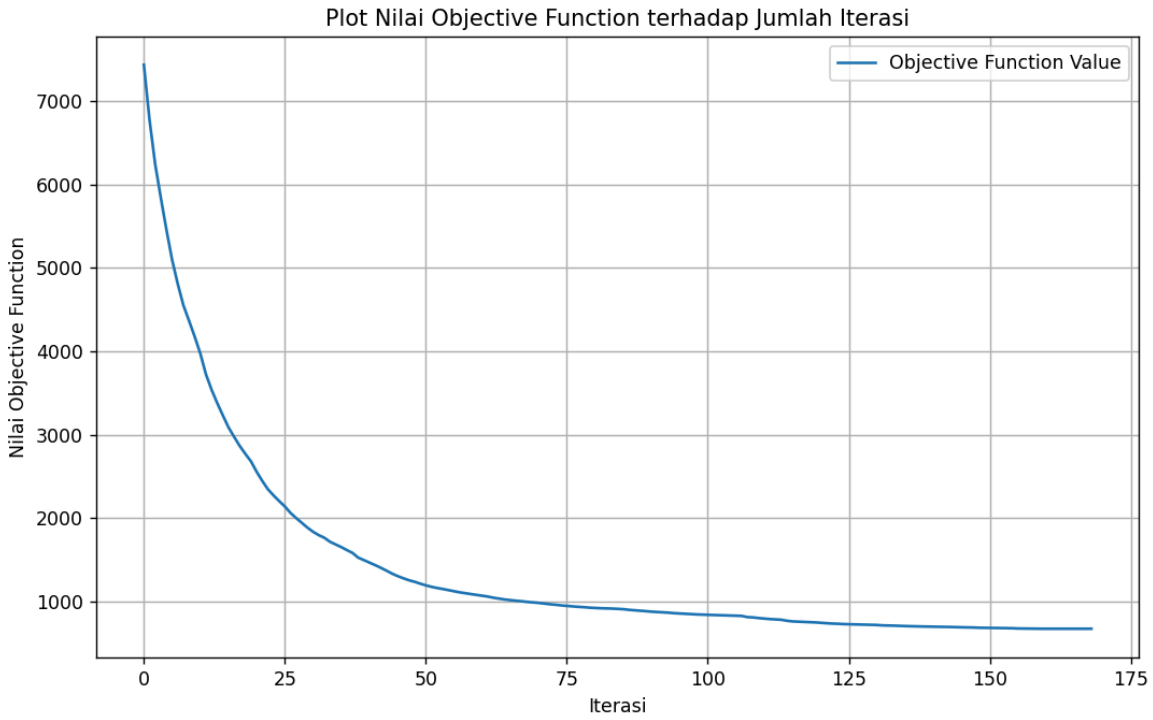
51 |115 |112 |49 |1 |
125 |26 |21 |43 |97 |
44 |7 |124 |37 |80 |
19 |75 |31 |70 |120 |
72 |82 |27 |116 |18 |

----- Sisi ke- 5 ------

32 |73 |94 |11 |102 |
68 |110 |2 |56 |117 |
92 |48 |42 |95 |38 |
39 |33 |106 |90 |17 |
84 |50 |77 |63 |41 |

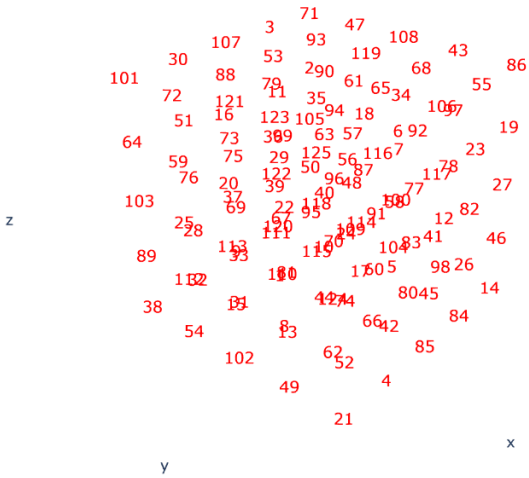
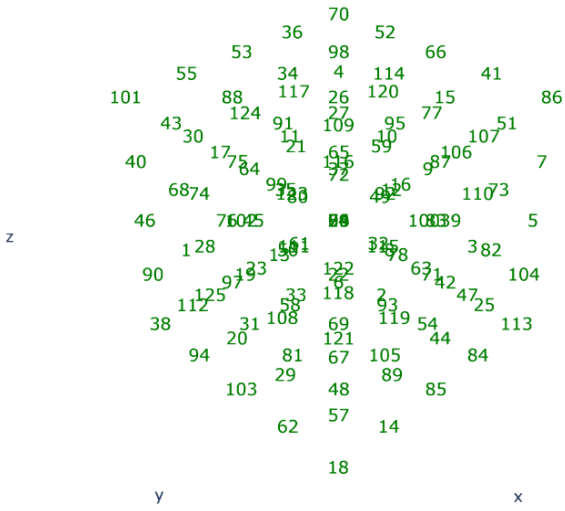
Nilai Objective Function Awal: 7440	Nilai Objective Function Akhir: 669

Plot Nilai Objective Function:



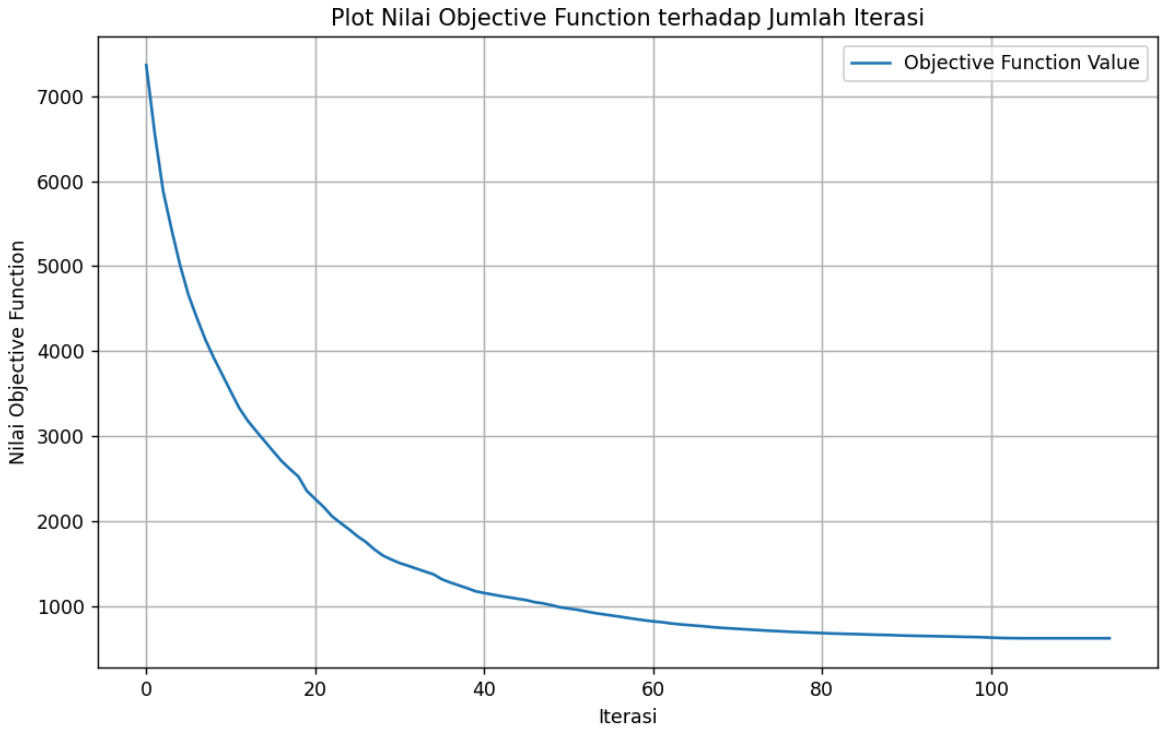
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 168
Banyak Sideways Move yang Dilakukan: 10
Durasi Proses Pencarian: 142416 ms

Percobaan 2

State Awal Cube	State Akhir Cube
	

Sisi ke sumbu x	Sisi ke sumbu y	Sisi ke sumbu z	Sisi ke sumbu x	Sisi ke sumbu y	Sisi ke sumbu z
----- Sisi ke- 1 ------ 95 |50 |105 |2 |71 | 109 |48 |57 |61 |47 | 104 |100 |7 |34 |108 | 98 |12 |78 |97 |43 | 14 |46 |27 |19 |86 | ----- Sisi ke- 2 ------ 111 |39 |36 |79 |3 | 115 |118 |125 |35 |93 | 17 |114 |87 |18 |119 | 80 |83 |77 |92 |68 | 84 |26 |82 |23 |55 | ----- Sisi ke- 3 ------ 33 |69 |75 |121 |107 | 1 |120 |122 |123 |53 | 44 |10 |40 |63 |90 | 66 |60 |91 |116 |65 | 85 |45 |41 |117 |106 | ----- Sisi ke- 4 ------ 32 |28 |76 |51 |30 | 31 |9 |37 |73 |88 | 8 |110 |67 |29 |11 | 62 |124 |70 |96 |94 | 4 |42 |5 |58 |6 | ----- Sisi ke- 5 ------ 38 |89 |103 |64 |101 | 54 |112 |25 |59 |72 | 102 |15 |113 |20 |16 | 49 |13 |81 |22 |99 | 21 |52 |74 |24 |56 |	----- Sisi ke- 1 ------ 95 |109 |104 |98 |14 | 111 |115 |17 |80 |84 | 33 |1 |44 |66 |85 | 32 |31 |8 |62 |4 | 38 |54 |102 |49 |21 | ----- Sisi ke- 2 ------ 50 |48 |100 |12 |46 | 39 |118 |114 |83 |26 | 69 |120 |10 |60 |45 | 28 |9 |110 |124 |42 | 89 |112 |15 |13 |52 | ----- Sisi ke- 3 ------ 105 |57 |7 |78 |27 | 36 |125 |87 |77 |82 | 75 |122 |40 |91 |41 | 76 |37 |67 |70 |5 | 103 |25 |113 |81 |74 | ----- Sisi ke- 4 ------ 2 |61 |34 |97 |19 | 79 |35 |18 |92 |23 | 121 |123 |63 |116 |117 | 51 |73 |29 |96 |58 | 64 |59 |20 |22 |24 | ----- Sisi ke- 5 ------ 71 |47 |108 |43 |86 | 3 |93 |119 |68 |55 | 107 |53 |90 |65 |106 | 30 |88 |11 |94 |6 | 101 |72 |16 |99 |56 |	----- Sisi ke- 1 ------ 95 |111 |33 |32 |38 | 50 |39 |69 |28 |89 | 105 |36 |75 |76 |103 | 2 |79 |121 |51 |64 | 71 |3 |107 |30 |101 | ----- Sisi ke- 2 ------ 109 |115 |1 |31 |54 | 48 |118 |120 |9 |112 | 57 |125 |122 |37 |25 | 61 |35 |123 |73 |59 | 47 |93 |53 |88 |72 | ----- Sisi ke- 3 ------ 104 |17 |44 |8 |102 | 100 |114 |10 |110 |15 | 7 |87 |40 |67 |113 | 34 |18 |63 |29 |20 | 108 |119 |90 |11 |16 | ----- Sisi ke- 4 ------ 98 |80 |66 |62 |49 | 12 |83 |60 |124 |13 | 78 |77 |91 |70 |81 | 97 |92 |116 |96 |22 | 43 |68 |65 |94 |99 | ----- Sisi ke- 5 ------ 14 |84 |85 |4 |21 | 46 |26 |45 |42 |52 | 27 |82 |41 |5 |74 | 19 |23 |117 |58 |24 | 86 |55 |106 |6 |56 |	----- Sisi ke- 1 ------ 60 |72 |109 |4 |70 | 32 |49 |59 |120 |52 | 63 |100 |9 |77 |66 | 47 |3 |110 |107 |41 | 113 |104 |5 |7 |86 | ----- Sisi ke- 2 ------ 61 |80 |21 |117 |36 | 122 |24 |37 |27 |98 | 2 |115 |92 |10 |114 | 54 |71 |83 |87 |15 | 84 |25 |82 |73 |51 | ----- Sisi ke- 3 ------ 23 |45 |64 |124 |53 | 33 |111 |123 |11 |34 | 69 |22 |79 |116 |26 | 105 |93 |8 |12 |95 | 85 |44 |42 |39 |106 | ----- Sisi ke- 4 ------ 125 |28 |74 |30 |55 | 31 |19 |102 |75 |88 | 81 |58 |50 |35 |91 | 48 |121 |6 |96 |65 | 14 |89 |119 |78 |16 | ----- Sisi ke- 5 ------ 38 |90 |46 |40 |101 | 94 |112 |1 |68 |43 | 103 |20 |97 |76 |17 | 62 |29 |108 |13 |99 | 18 |57 |67 |118 |56 |	----- Sisi ke- 1 ------ 60 |32 |63 |47 |113 | 61 |122 |2 |54 |84 | 23 |33 |69 |105 |85 | 125 |31 |81 |48 |14 | 38 |94 |103 |62 |18 | ----- Sisi ke- 2 ------ 72 |49 |100 |3 |104 | 80 |24 |115 |71 |25 | 45 |111 |22 |93 |44 | 28 |19 |58 |121 |89 | 90 |112 |20 |29 |57 | ----- Sisi ke- 3 ------ 109 |59 |9 |110 |5 | 21 |37 |92 |83 |82 | 64 |123 |79 |8 |42 | 74 |102 |50 |6 |119 | 46 |1 |97 |108 |67 | ----- Sisi ke- 4 ------ 4 |120 |77 |107 |7 | 117 |27 |10 |87 |73 | 124 |11 |116 |12 |39 | 30 |75 |35 |96 |78 | 40 |68 |76 |13 |118 | ----- Sisi ke- 5 ------ 70 |52 |66 |41 |86 | 36 |98 |114 |15 |51 | 53 |34 |26 |95 |106 | 55 |88 |91 |65 |16 | 101 |43 |17 |99 |56 |	----- Sisi ke- 1 ------ 60 |61 |23 |125 |38 | 72 |80 |45 |28 |90 | 109 |21 |64 |74 |46 | 4 |117 |124 |30 |40 | 70 |36 |53 |55 |101 | ----- Sisi ke- 2 ------ 32 |122 |33 |31 |94 | 49 |24 |111 |19 |112 | 59 |37 |123 |102 |1 | 120 |27 |11 |75 |68 | 52 |98 |34 |88 |43 | ----- Sisi ke- 3 ------ 63 |2 |69 |81 |103 | 100 |115 |22 |58 |20 | 9 |92 |79 |50 |97 | 77 |10 |116 |35 |76 | 66 |114 |26 |91 |17 | ----- Sisi ke- 4 ------ 47 |54 |105 |48 |62 | 3 |71 |93 |121 |29 | 110 |83 |8 |6 |108 | 107 |87 |12 |96 |13 | 41 |15 |95 |65 |99 | ----- Sisi ke- 5 ------ 113 |84 |85 |14 |18 | 104 |25 |44 |89 |57 | 5 |82 |42 |119 |67 | 7 |73 |39 |78 |118 | 86 |51 |106 |16 |56 |
Nilai Objective Function Awal: 7364			Nilai Objective Function Akhir: 626		

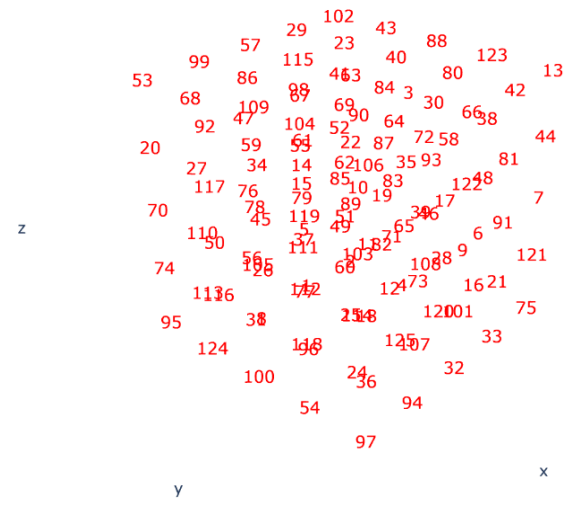
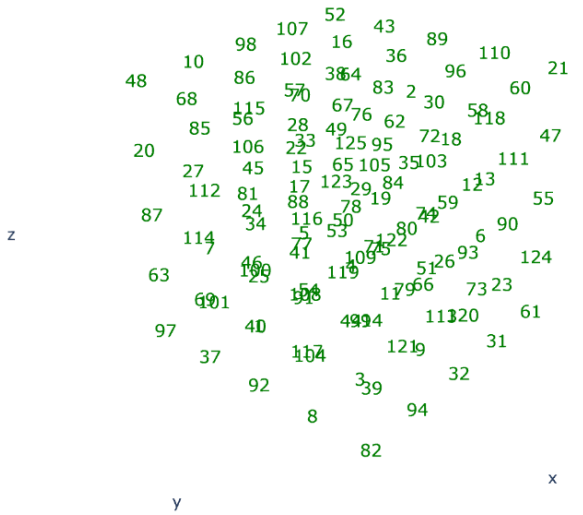
Plot Nilai Objective Function:



Banyak Iterasi yang Dilakukan: 114

Banyak Sideways Move yang Dilakukan: 10
Durasi Proses Pencarian: 95105 ms

Percobaan 3

State Awal Cube	State Akhir Cube
	

Sisi ke sumbu x

----- Sisi ke- 1 -----

49	85	52	41	102
82	19	87	84	43
108	46	93	30	88
16	6	48	38	123
75	121	7	44	13

----- Sisi ke- 2 -----

111	79	55	98	29
60	51	62	69	23
12	71	83	64	40
120	28	17	58	80
33	21	91	81	42

----- Sisi ke- 3 -----

26	45	34	109	57
77	37	15	104	115
25	2	89	22	63
125	4	65	35	3
32	101	9	122	66

----- Sisi ke- 4 -----

116	50	117	92	99
8	105	78	59	86
118	112	5	14	67
24	114	103	10	90
94	107	73	39	72

----- Sisi ke- 5 -----

95	74	70	20	53
124	113	110	27	68
100	31	56	76	47
54	96	1	119	61
97	36	18	11	106

Sisi ke sumbu y

----- Sisi ke- 1 -----

49	82	108	16	75
111	60	12	120	33
26	77	25	125	32
116	8	118	24	94
95	124	100	54	97

----- Sisi ke- 2 -----

85	19	46	6	121
79	51	71	28	21
45	37	2	4	101
50	105	112	114	107
74	113	31	96	36

----- Sisi ke- 3 -----

52	87	93	48	7
55	62	83	17	91
34	15	89	65	9
117	78	5	103	73
70	110	56	1	18

----- Sisi ke- 4 -----

41	84	30	38	44
98	69	64	58	81
109	104	22	35	122
92	59	14	10	39
20	27	76	119	11

----- Sisi ke- 5 -----

102	43	88	123	13
29	23	40	80	42
57	115	63	3	66
99	86	67	90	72
53	68	47	61	106

Sisi ke sumbu z

----- Sisi ke- 1 -----

49	111	26	116	95
85	79	45	50	74
52	55	34	117	70
41	98	109	92	20
102	29	57	99	53

----- Sisi ke- 2 -----

82	60	77	8	124
19	51	37	105	113
87	62	15	78	110
84	69	104	59	27
43	23	115	86	68

----- Sisi ke- 3 -----

108	12	25	118	100
46	71	2	112	31
93	83	89	5	56
30	64	22	14	76
88	40	63	67	47

----- Sisi ke- 4 -----

16	120	125	24	54
6	28	4	114	96
48	17	65	103	1
38	58	35	10	119
123	80	3	90	61

----- Sisi ke- 5 -----

75	33	32	94	97
121	21	101	107	36
7	91	9	73	18
44	81	122	39	11
13	42	66	72	106

Sisi ke sumbu x

----- Sisi ke- 1 -----

53	123	49	38	52
75	19	95	83	43
51	42	103	30	89
73	6	13	118	110
61	124	55	47	21

----- Sisi ke- 2 -----

41	88	22	57	107
119	50	65	67	16
11	122	84	62	36
113	26	59	18	96
31	23	90	111	60

----- Sisi ke- 3 -----

25	34	45	115	98
91	77	17	28	102
44	4	78	125	64
121	79	80	35	2
32	120	93	12	58

----- Sisi ke- 4 -----

101	7	112	85	10
1	100	24	106	86
117	108	5	15	70
3	99	109	29	76
94	9	66	74	72

----- Sisi ke- 5 -----

97	63	87	20	48
37	69	114	27	68
92	40	46	81	56
8	104	54	116	33
82	39	14	71	105

Sisi ke sumbu y

----- Sisi ke- 1 -----

53	75	51	73	61
41	119	11	113	31
25	91	44	121	32
101	1	117	3	94
97	37	92	8	82

----- Sisi ke- 2 -----

123	19	42	6	124
88	50	122	26	23
34	77	4	79	120
7	100	108	99	9
63	69	40	104	39

----- Sisi ke- 3 -----

49	95	103	13	55
22	65	84	59	90
45	17	78	80	93
112	24	5	109	66
87	114	46	54	14

----- Sisi ke- 4 -----

38	83	30	118	47
57	67	62	18	111
115	28	125	35	12
85	106	15	29	74
20	27	81	116	71

----- Sisi ke- 5 -----

52	43	89	110	21
107	16	36	96	60
98	102	64	2	58
10	86	70	76	72
48	68	56	33	105

Sisi ke sumbu z

----- Sisi ke- 1 -----

53	41	25	101	97
123	88	34	7	63
49	22	45	112	87
38	57	115	85	20
52	107	98	10	48

----- Sisi ke- 2 -----

75	119	91	1	37
19	50	77	100	69
95	65	17	24	114
83	67	28	106	27
43	16	102	86	68

----- Sisi ke- 3 -----

51	11	44	117	92
42	122	4	108	40
103	84	78	5	46
30	62	125	15	81
89	36	64	70	56

----- Sisi ke- 4 -----

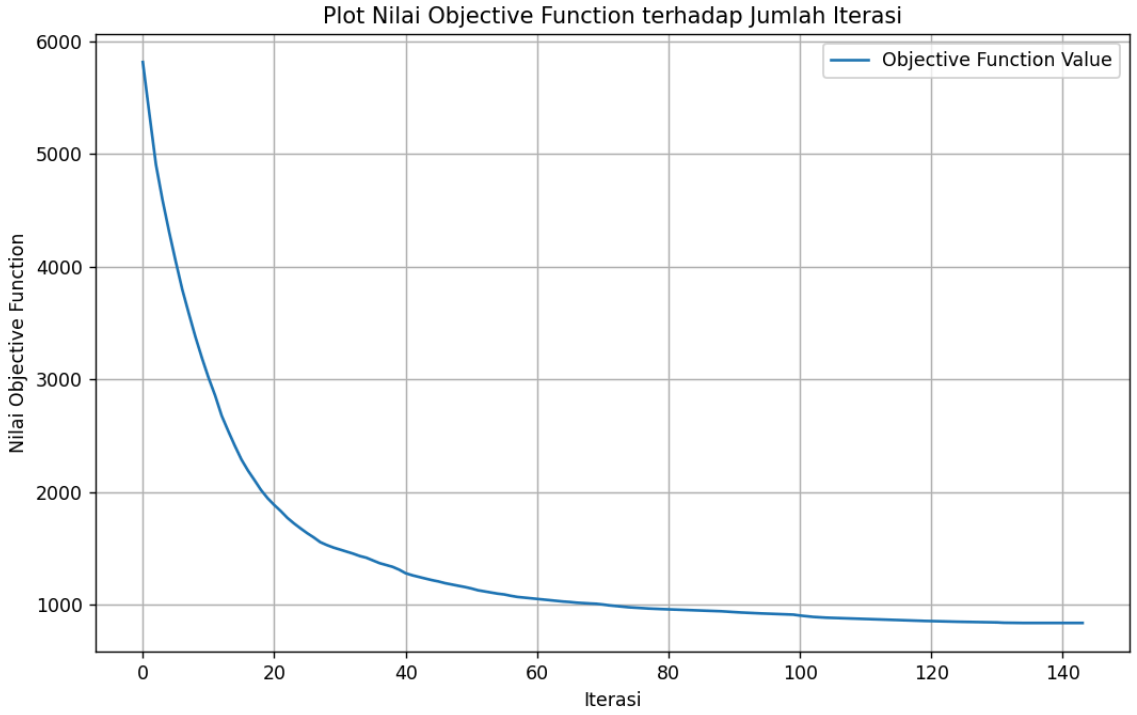
73	113	121	3	8
6	26	79	99	104
13	59	80	109	54
118	18	35	29	116
110	96	2	76	33

----- Sisi ke- 5 -----

61	31	32	94	82
124	23	120	9	39
55	90	93	66	14
47	111	12	74	71
21	60	58	72	105

Nilai Objective Function Awal: 5813	Nilai Objective Function Akhir: 839

Plot Nilai Objective Function:



Banyak Iterasi yang Dilakukan: 143
Banyak Sideways Move yang Dilakukan: 10
Durasi Proses Pencarian: 122882 ms

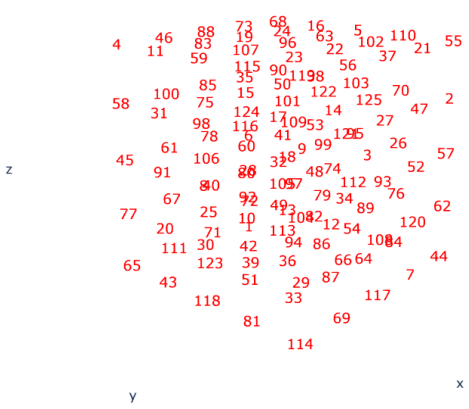
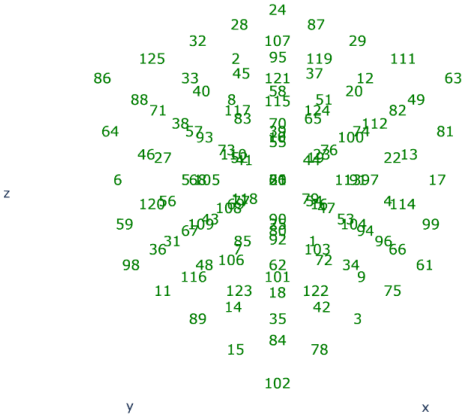
3. Random Restart Hill-climbing

Metode Random Restart Hill-climbing dimulai dengan membuat sebuah cube yang berisikan angka acak. Lalu, akan dilakukan proses penukaran tiap nilai di dalamnya yang sesuai dengan penjelasan bagian II.2.3. Ketika sudah tidak ada lagi best neighbor yang dapat ditukar, program akan melakukan restart dan membuat cube baru secara random. Selain itu, fungsi ini akan memiliki parameter maximum restart yang akan menghentikan pencarian jika sudah mencapai maximum restart.

Proses akan terus berlangsung hingga maximum restart telah habis. Lalu, kondisi terminate yang akan memberikan nilai cube (kondisi cube akhir), restartCount (jumlah restart yang terjadi), iterarionPerRestart (jumlah iterasi setiap restart), duration (durasi waktu yang terjadi dalam proses pencarian), dan plot nilai fungsi objektif terhadap banyak iterasi yang telah dilewati.

Percobaan kali ini dilakukan dengan mengatur jumlah restart maksimal sebesar 5. Berikut adalah hasil percobaan menggunakan metode Random Restart Hill-climbing:

Percobaan 1

State Awal Cube	State Akhir Cube
	

Sisi ke sumbu x

----- Sisi ke- 1 ------

49	32	17	90	68
82	48	53	38	16
54	112	95	103	5
84	76	26	70	110
44	62	57	2	55

----- Sisi ke- 2 ------

10	80	116	35	73
113	105	41	50	24
86	79	99	122	63
64	89	3	125	102
7	120	52	47	21

----- Sisi ke- 3 ------

71	40	78	85	88
42	92	60	15	19
36	13	18	101	96
87	12	74	14	22
117	108	93	27	37

----- Sisi ke- 4 ------

111	67	61	100	46
123	25	106	75	83
51	1	28	124	107
33	94	97	109	23
69	66	34	121	56

----- Sisi ke- 5 ------

65	77	45	58	4
43	20	91	31	11
118	30	8	98	59
81	39	72	6	115
114	29	104	9	119

Sisi ke sumbu y

----- Sisi ke- 1 ------

49	82	54	84	44
10	113	86	64	7
71	42	36	87	117
111	123	51	33	69
65	43	118	81	114

----- Sisi ke- 2 ------

32	48	112	76	62
80	105	79	89	120
40	92	13	12	108
67	25	1	94	66
77	20	30	39	29

----- Sisi ke- 3 ------

17	53	95	26	57
116	41	99	3	52
78	60	18	74	93
61	106	28	97	34
45	91	8	72	104

----- Sisi ke- 4 ------

90	38	103	70	2
35	50	122	125	47
85	15	101	14	27
100	75	124	109	121
58	31	98	6	9

----- Sisi ke- 5 ------

68	16	5	110	55
73	24	63	102	21
88	19	96	22	37
46	83	107	23	56
4	11	59	115	119

Sisi ke sumbu z

----- Sisi ke- 1 ------

49	10	71	111	65
32	80	40	67	77
17	116	78	61	45
90	35	85	100	58
68	73	88	46	4

----- Sisi ke- 2 ------

82	113	42	123	43
48	105	92	25	20
53	41	60	106	91
38	50	15	75	31
16	24	19	83	11

----- Sisi ke- 3 ------

54	86	36	51	118
112	79	13	1	30
95	99	18	28	8
103	122	101	124	98
5	63	96	107	59

----- Sisi ke- 4 ------

84	64	87	33	81
76	89	12	94	39
26	3	74	97	72
70	125	14	109	6
110	102	22	23	115

----- Sisi ke- 5 ------

44	7	117	69	114
62	120	108	66	29
57	52	93	34	104
2	47	27	121	9
55	21	37	56	119

Sisi ke sumbu x

----- Sisi ke- 1 ------

26	55	115	95	24
79	44	65	37	87
53	113	100	20	29
96	4	22	82	111
61	99	17	81	63

----- Sisi ke- 2 ------

118	41	83	45	28
90	50	10	58	107
1	54	19	124	119
34	104	91	74	12
75	66	114	13	49

----- Sisi ke- 3 ------

43	105	93	40	32
85	77	52	117	2
62	25	60	39	121
122	103	16	23	51
3	9	94	97	112

----- Sisi ke- 4 ------

31	56	27	71	125
48	109	68	57	33
123	7	69	110	8
35	101	80	30	70
78	42	72	47	76

----- Sisi ke- 5 ------

98	59	6	64	86
11	36	120	46	88
89	116	67	5	38
15	14	106	108	73
102	84	18	92	21

Sisi ke sumbu y

----- Sisi ke- 1 ------

26	79	53	96	61
118	90	1	34	75
43	85	62	122	3
31	48	123	35	78
98	11	89	15	102

----- Sisi ke- 2 ------

55	44	113	4	99
41	50	54	104	66
105	77	25	103	9
56	109	7	101	42
59	36	116	14	84

----- Sisi ke- 3 ------

115	65	100	22	17
83	10	19	91	114
93	52	60	16	94
27	68	69	80	72
6	120	67	106	18

----- Sisi ke- 4 ------

95	37	20	82	81
45	58	124	74	13
40	117	39	23	97
71	57	110	30	47
64	46	5	108	92

----- Sisi ke- 5 ------

24	87	29	111	63
28	107	119	12	49
32	95	121	37	82
125	2	45	58	20
86	33	40	115	51
88	71	8	117	124
64	38	57	83	65
46	27	93	70	112
6	56	105	41	22
59	67	103	107	13
36	31	85	92	1
98	48	106	62	72
116	11	123	18	122
14	89	35	42	3
84	15	78	102	

Sisi ke sumbu z

----- Sisi ke- 1 ------

26	118	43	31	98
55	41	105	56	59
115	83	93	27	6
95	45	40	71	64
24	28	32	125	86

----- Sisi ke- 2 ------

79	90	85	48	11
44	50	77	109	36
65	10	52	68	120
37	58	117	57	46
87	107	2	33	88

----- Sisi ke- 3 ------

53	1	62	123	89
113	54	25	7	116
100	19	60	69	67
20	124	39	110	5
29	119	121	8	38

----- Sisi ke- 4 ------

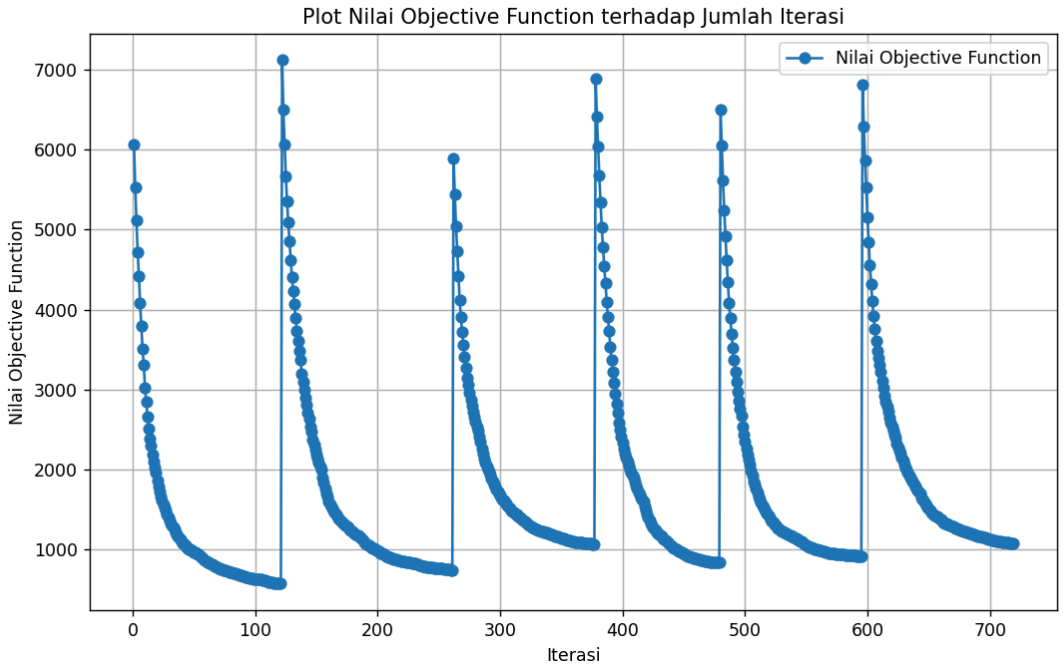
96	34	122	35	15
4	104	103	101	14
22	91	16	80	106
82	74	23	30	108
111	12	51	70	73

----- Sisi ke- 5 ------

61	75	3	78	102
99	66	9	42	84
17	114	94	72	18
81	13	97	47	92
63	49	112	76	21

Nilai Objective Function Awal: 6071	Nilai Objective Function Akhir: 1079

Plot Nilai Objective Function:



Banyak Restart yang Terjadi: 5

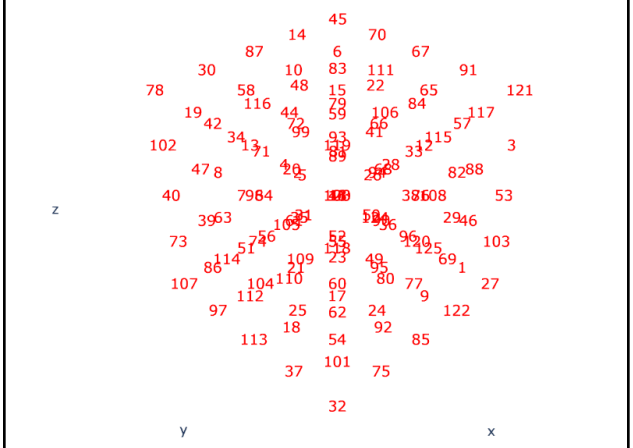
Jumlah Iterasi Setiap Restart:

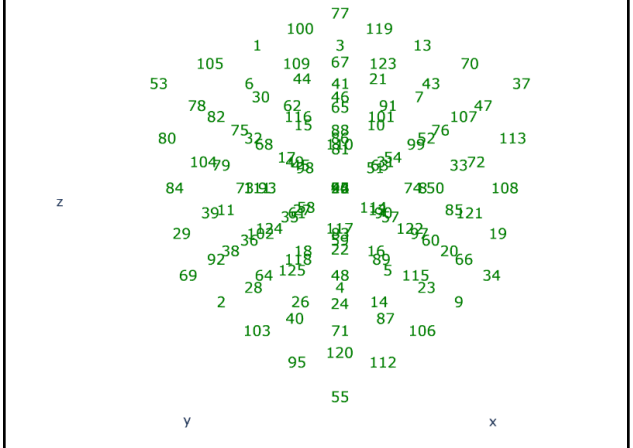
- Iterasi Restart 0: 120
- Iterasi Restart 1: 139
- Iterasi Restart 2: 115
- Iterasi Restart 3: 101
- Iterasi Restart 4: 115
- Iterasi Restart 5: 123

Durasi Proses Pencarian: 542162 ms

Percobaan 2

State Awal Cube	State Akhir Cube





Sisi ke sumbu x

----- Sisi ke- 1 ------

43	89	59	83	45
50	26	41	22	70
96	38	33	84	67
69	29	82	57	91
27	103	53	3	121

----- Sisi ke- 2 ------

31	5	99	48	14
52	123	81	79	6
49	124	94	66	111
77	120	76	12	65
122	1	46	88	117

----- Sisi ke- 3 ------

56	64	71	116	87
109	35	2	72	10
60	55	16	119	15
24	95	90	68	106
85	9	125	108	115

----- Sisi ke- 4 ------

114	63	8	42	30
104	74	98	13	58
25	21	61	20	44
54	17	118	11	93
75	92	80	36	28

----- Sisi ke- 5 ------

107	73	40	102	78
97	86	39	47	19
113	112	51	7	34
37	18	110	105	4
32	101	62	23	100

Sisi ke sumbu y

----- Sisi ke- 1 ------

43	50	96	69	27
31	52	49	77	122
56	109	60	24	85
114	104	25	54	75
107	97	113	37	32

----- Sisi ke- 2 ------

89	26	38	29	103
5	123	124	120	1
64	35	55	95	9
63	74	21	17	92
73	86	112	18	101

----- Sisi ke- 3 ------

59	41	33	82	53
99	81	94	76	46
71	2	16	90	125
8	98	61	118	80
40	39	51	110	62

----- Sisi ke- 4 ------

83	22	84	57	3
48	79	66	12	88
116	72	119	68	108
42	13	20	11	36
102	47	7	105	23

----- Sisi ke- 5 ------

45	70	67	91	121
14	6	111	65	117
87	10	15	106	115
30	58	44	93	28
78	19	34	4	100

Sisi ke sumbu z

----- Sisi ke- 1 ------

43	31	56	114	107
89	5	64	63	73
59	99	71	8	40
83	48	116	42	102
45	14	87	30	78

----- Sisi ke- 2 ------

50	52	109	104	97
26	123	35	74	86
41	81	2	98	39
22	79	72	13	47
70	6	10	58	19

----- Sisi ke- 3 ------

96	49	60	25	113
38	124	55	21	112
33	94	16	61	51
84	66	119	20	7
67	111	15	44	34

----- Sisi ke- 4 ------

69	77	24	54	37
29	120	95	17	18
82	76	90	118	110
57	12	68	11	105
91	65	106	93	4

----- Sisi ke- 5 ------

27	122	85	75	32
103	1	9	92	101
53	46	125	80	62
3	88	108	36	23
121	117	115	28	100

Nilai Objective Function Awal: 6276

Sisi ke sumbu x

----- Sisi ke- 1 ------

25	81	65	67	77
114	51	10	21	119
122	74	99	7	13
20	85	33	107	70
34	19	108	113	37

----- Sisi ke- 2 ------

58	98	15	44	100
117	42	110	46	3
16	12	63	101	123
115	97	8	52	43
9	66	121	72	47

----- Sisi ke- 3 ------

124	93	68	30	1
18	27	45	116	109
48	83	56	86	41
14	89	90	31	91
106	23	60	50	76

----- Sisi ke- 4 ------

38	11	79	82	105
64	102	111	32	6
26	118	61	49	62
71	4	59	94	88
112	87	5	57	54

----- Sisi ke- 5 ------

69	29	84	80	53
2	92	39	104	78
103	28	36	73	75
95	40	125	35	17
55	120	24	22	96

Sisi ke sumbu y

----- Sisi ke- 1 ------

25	114	122	20	34
58	117	16	115	9
124	18	48	14	106
38	64	26	71	112
69	2	103	95	55

----- Sisi ke- 2 ------

81	51	74	85	19
98	42	12	97	66
93	27	83	89	23
11	102	118	4	87
29	92	28	40	120

----- Sisi ke- 3 ------

65	10	99	33	108
15	110	63	8	121
68	45	56	90	60
79	111	61	59	5
84	39	36	125	24

----- Sisi ke- 4 ------

67	21	7	107	113
44	46	101	52	72
30	116	86	31	50
82	32	49	94	57
80	104	73	35	22

----- Sisi ke- 5 ------

77	119	13	70	37
100	3	123	43	47
1	109	41	91	76
105	6	62	88	54
53	78	75	17	96

Sisi ke sumbu z

----- Sisi ke- 1 ------

25	58	124	38	69
81	98	93	11	29
65	15	68	79	84
67	44	30	82	80
77	100	1	105	53

----- Sisi ke- 2 ------

114	117	18	64	2
51	42	27	102	92
10	110	45	111	39
21	46	116	32	104
119	3	109	6	78

----- Sisi ke- 3 ------

122	16	48	26	103
74	12	83	118	28
99	63	56	61	36
7	101	86	49	73
13	123	41	62	75

----- Sisi ke- 4 ------

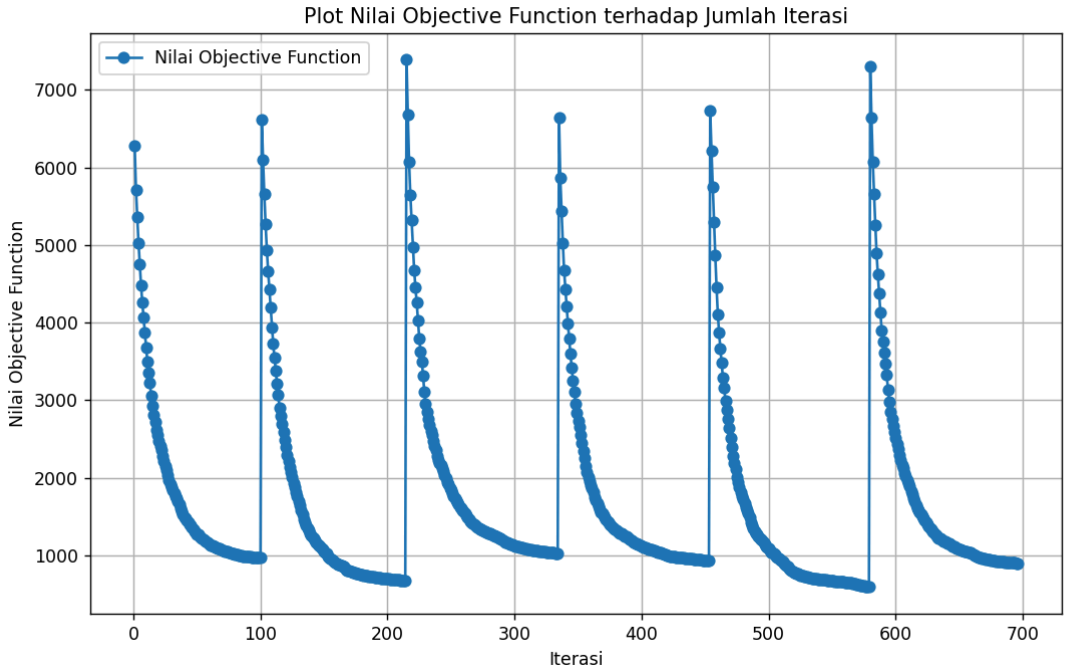
20	115	14	71	95
85	97	89	4	40
33	8	90	59	125
107	52	31	94	35
70	43	91	88	17

----- Sisi ke- 5 ------

34	9	106	112	55
19	66	23	87	120
108	121	60	5	24
113	72	50	57	22
37	47	76	54	96

Nilai Objective Function Akhir: 900

Plot Nilai Objective Function:



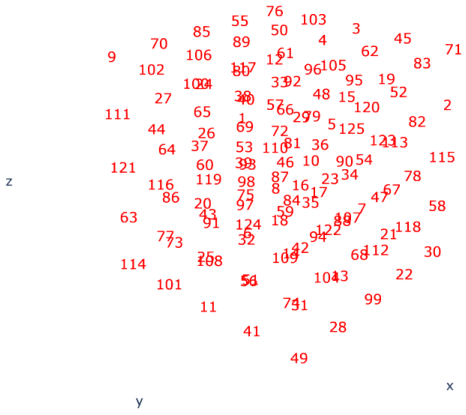
Banyak Restart yang Terjadi: 5
Jumlah Iterasi Setiap Restart:

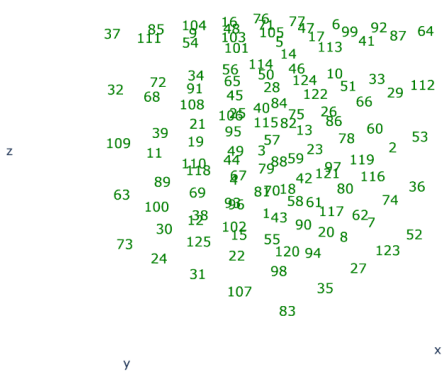
- Iterasi Restart 0: 99
- Iterasi Restart 1: 113
- Iterasi Restart 2: 119
- Iterasi Restart 3: 118
- Iterasi Restart 4: 125
- Iterasi Restart 5: 116

Durasi Proses Pencarian: 549890 ms

Percobaan 3

State Awal Cube	State Akhir Cube





Sisi ke sumbu x

```
----- Sisi ke- 1 ------

8 |110 |57 |12 |76 |
35 |10 |79 |96 |103 |
107 |34 |125 |95 |3 |
21 |67 |113 |52 |45 |
30 |58 |115 |2 |71 |

----- Sisi ke- 2 ------

97 |39 |1 |80 |55 |
18 |87 |72 |33 |50 |
94 |17 |36 |48 |4 |
68 |7 |54 |120 |62 |
22 |118 |78 |82 |83 |

----- Sisi ke- 3 ------

91 |119 |26 |24 |85 |
32 |75 |53 |38 |89 |
109 |59 |46 |66 |61 |
104 |122 |23 |5 |105 |
99 |112 |47 |123 |19 |

----- Sisi ke- 4 ------

73 |86 |64 |27 |70 |
108 |43 |60 |65 |106 |
56 |6 |98 |69 |117 |
74 |14 |84 |81 |92 |
28 |13 |88 |90 |15 |

----- Sisi ke- 5 ------

114 |63 |121 |111 |9 |
101 |77 |116 |44 |102 |
11 |25 |20 |37 |100 |
41 |51 |124 |93 |40 |
49 |31 |42 |16 |29 |
```

Sisi ke sumbu y

```
----- Sisi ke- 1 ------

8 |35 |107 |21 |30 |
97 |18 |94 |68 |22 |
91 |32 |109 |104 |99 |
73 |108 |56 |74 |28 |
114 |101 |11 |41 |49 |

----- Sisi ke- 2 ------

110 |10 |34 |67 |58 |
39 |87 |17 |7 |118 |
119 |75 |59 |122 |112 |
86 |43 |6 |14 |13 |
63 |77 |25 |51 |31 |

----- Sisi ke- 3 ------

57 |79 |125 |113 |115 |
1 |72 |36 |54 |78 |
26 |53 |46 |23 |47 |
64 |60 |98 |84 |88 |
121 |116 |20 |124 |42 |

----- Sisi ke- 4 ------

12 |96 |95 |52 |2 |
80 |33 |48 |120 |82 |
24 |38 |66 |5 |123 |
27 |65 |69 |81 |90 |
111 |44 |37 |93 |16 |

----- Sisi ke- 5 ------

76 |103 |3 |45 |71 |
55 |50 |4 |62 |83 |
85 |89 |61 |105 |19 |
70 |106 |117 |92 |15 |
9 |102 |100 |40 |29 |
```

Sisi ke sumbu z

```
----- Sisi ke- 1 ------

8 |97 |91 |73 |114 |
110 |39 |119 |86 |63 |
57 |1 |26 |64 |121 |
12 |80 |24 |27 |111 |
76 |55 |85 |70 |9 |

----- Sisi ke- 2 ------

35 |18 |32 |108 |101 |
10 |87 |75 |43 |77 |
79 |72 |53 |60 |116 |
96 |33 |38 |65 |44 |
103 |50 |89 |106 |102 |

----- Sisi ke- 3 ------

107 |94 |109 |56 |11 |
34 |17 |59 |6 |25 |
125 |36 |46 |98 |20 |
95 |48 |66 |69 |37 |
3 |4 |61 |117 |100 |

----- Sisi ke- 4 ------

21 |68 |104 |74 |41 |
67 |7 |122 |14 |51 |
113 |54 |23 |84 |124 |
52 |120 |5 |81 |93 |
45 |62 |105 |92 |40 |

----- Sisi ke- 5 ------

30 |22 |99 |28 |49 |
58 |118 |112 |13 |31 |
115 |78 |47 |88 |42 |
2 |82 |123 |90 |16 |
71 |83 |19 |15 |29 |
```

Sisi ke sumbu x

```
----- Sisi ke- 1 ------

81 |3 |40 |114 |76 |
58 |59 |75 |46 |77 |
117 |97 |86 |10 |6 |
7 |116 |60 |33 |92 |
52 |36 |53 |112 |64 |

----- Sisi ke- 2 ------

93 |44 |106 |56 |16 |
1 |79 |115 |50 |71 |
90 |42 |13 |124 |47 |
8 |80 |78 |51 |99 |
123 |74 |2 |29 |87 |

----- Sisi ke- 3 ------

38 |118 |21 |34 |104 |
102 |4 |95 |65 |48 |
55 |70 |57 |28 |105 |
94 |61 |23 |122 |17 |
27 |62 |119 |66 |41 |

----- Sisi ke- 4 ------

30 |89 |39 |72 |85 |
125 |69 |19 |91 |9 |
22 |96 |49 |45 |103 |
98 |43 |88 |84 |5 |
35 |20 |121 |26 |113 |

----- Sisi ke- 5 ------

73 |63 |109 |32 |37 |
24 |100 |11 |68 |111 |
31 |12 |110 |108 |54 |
107 |15 |67 |25 |101 |
83 |120 |18 |82 |14 |
```

Sisi ke sumbu y

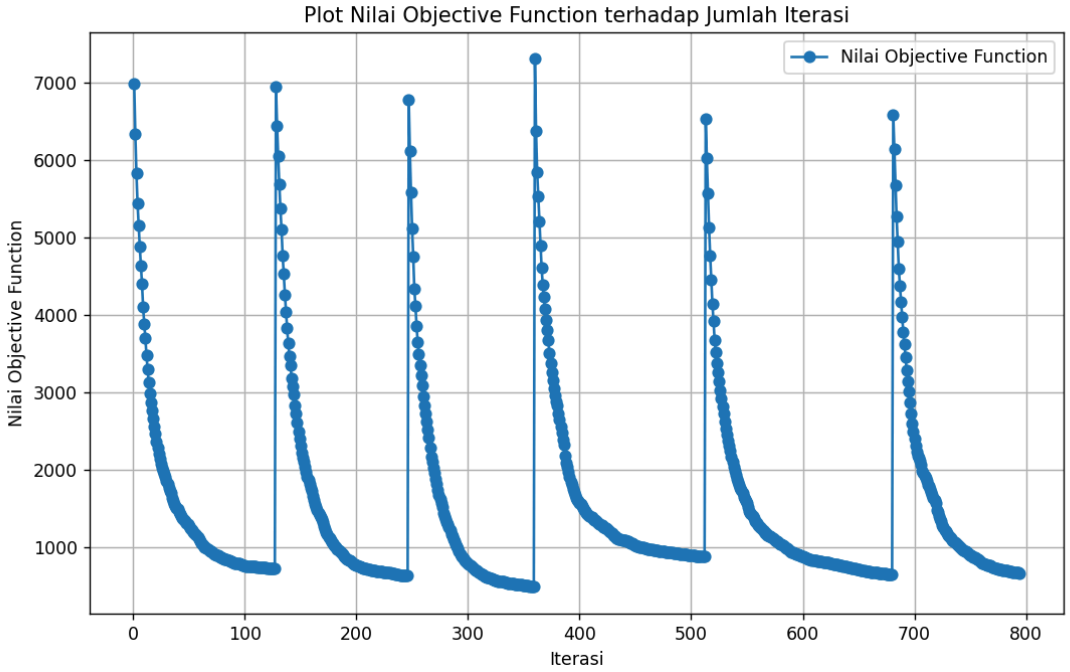
```
----- Sisi ke- 1 ------

81 |58 |117 |7 |52 |
93 |1 |90 |8 |123 |
38 |102 |55 |94 |27 |
30 |125 |22 |98 |35 |
73 |24 |31 |107 |83 |

----- Sisi ke- 2 ------

3 |59 |97 |116 |36 |
44 |79 |42 |80 |74 |
118 |4 |70 |61 |62 |
89 |69 |96 |43 |20 |
63 |100 |12 |15 |120 |

----- Sisi ke- 3 ------

40 |75 |86 |60 |53 |
106 |115 |13 |78 |2 |
21 |95 |57 |23 |119 |
39 |19 |49 |88 |121 |
109 |11 |110 |67 |18 |

----- Sisi ke- 4 ------

114 |46 |10 |33 |112 |
56 |50 |124 |51 |29 |
34 |65 |28 |122 |66 |
72 |91 |45 |84 |26 |
32 |68 |108 |25 |82 |

----- Sisi ke- 5 ------

76 |77 |6 |92 |64 |
16 |71 |47 |99 |87 |
104 |48 |105 |17 |41 |
85 |9 |103 |5 |113 |
37 |111 |54 |101 |14 |
```

Sisi ke sumbu z

```
----- Sisi ke- 1 ------

81 |93 |38 |30 |73 |
3 |44 |118 |89 |63 |
40 |106 |21 |39 |109 |
114 |56 |34 |72 |32 |
76 |16 |104 |85 |37 |

----- Sisi ke- 2 ------

58 |1 |102 |125 |24 |
59 |79 |4 |69 |100 |
75 |115 |95 |19 |11 |
46 |50 |65 |91 |68 |
77 |71 |48 |9 |111 |

----- Sisi ke- 3 ------

117 |90 |55 |22 |31 |
97 |42 |70 |96 |12 |
86 |13 |57 |49 |110 |
10 |124 |28 |45 |108 |
6 |47 |105 |103 |54 |

----- Sisi ke- 4 ------

7 |8 |94 |98 |107 |
116 |80 |61 |43 |15 |
60 |78 |23 |88 |67 |
33 |51 |122 |84 |25 |
92 |99 |17 |5 |101 |

----- Sisi ke- 5 ------

52 |123 |27 |35 |83 |
36 |74 |62 |20 |120 |
53 |2 |119 |121 |18 |
112 |29 |66 |26 |82 |
64 |87 |41 |113 |14 |
```

Nilai Objective Function Awal: 6979	Nilai Objective Function Akhir: 670

Plot Nilai Objective Function:



Banyak Restart yang Terjadi: 5
Jumlah Iterasi Setiap Restart:

- Iterasi Restart 0: 126
- Iterasi Restart 1: 118
- Iterasi Restart 2: 112
- Iterasi Restart 3: 152
- Iterasi Restart 4: 167
- Iterasi Restart 5: 113

Durasi Proses Pencarian: 637409 ms

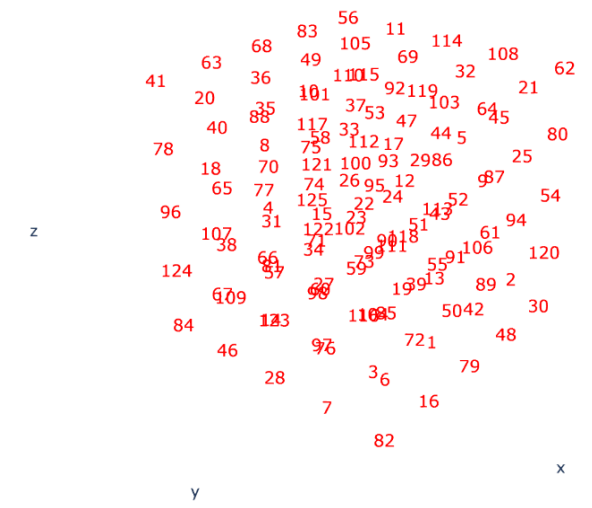
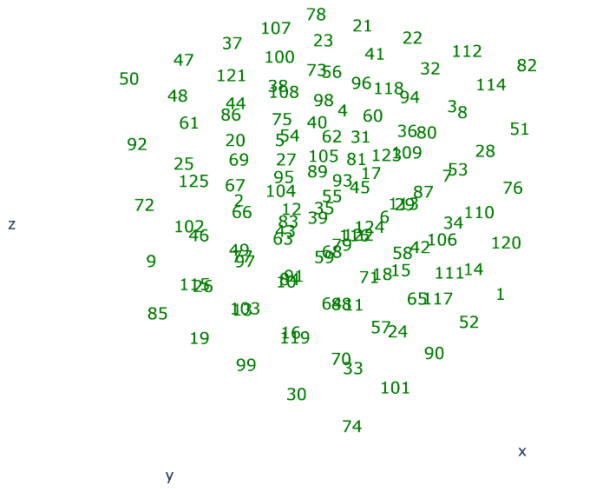
4. Stochastic Hill-climbing

Metode Stochastic Hill-climbing dimulai dengan membuat sebuah cube yang berisikan angka acak. Ketika menggunakan metode ini, pengguna dapat mengatur batas jumlah iterasi maksimum yang dapat diubah melalui CLI. Lalu, akan dilakukan proses penukaran tiap nilai di dalamnya yang sesuai dengan penjelasan bagian II.2.4.

Program akan memberikan kondisi terminate berupa nilai cube (kondisi cube akhir), iterationSum (jumlah iterasi yang terjadi hingga proses pencarian berhenti), duration (durasi waktu yang terjadi dalam proses pencarian), dan plot nilai fungsi objektif terhadap banyak iterasi yang telah dilewati.

Pada eksperimen kali ini, kami mengatur batas jumlah iterasi maksimum adalah 5000. Berikut adalah hasil percobaan menggunakan metode Stochastic Hill-climbing:

Percobaan 1

State Awal Cube	State Akhir Cube
	

Sisi ke sumbu x

```
----- Sisi ke- 1 ------
102 |26 |33 |110 |56 |
111 |24 |17 |92 |11 |
55 |43 |86 |103 |114 |
89 |61 |87 |45 |108 |
30 |120 |54 |80 |62 |

----- Sisi ke- 2 ------
34 |125 |75 |10 |83 |
59 |23 |100 |37 |105 |
19 |118 |12 |47 |69 |
50 |91 |52 |5 |32 |
48 |2 |94 |25 |21 |

----- Sisi ke- 3 ------
57 |31 |70 |35 |68 |
98 |71 |74 |117 |49 |
116 |73 |22 |112 |115 |
72 |39 |51 |29 |119 |
79 |42 |106 |9 |64 |

----- Sisi ke- 4 ------
109 |38 |65 |40 |63 |
123 |81 |4 |8 |36 |
97 |60 |122 |121 |101 |
3 |104 |99 |95 |53 |
16 |1 |13 |113 |44 |

----- Sisi ke- 5 ------
84 |124 |96 |78 |41 |
46 |67 |107 |18 |20 |
28 |14 |66 |77 |88 |
7 |76 |27 |15 |58 |
82 |6 |85 |90 |93 |
```

Sisi ke sumbu y

```
----- Sisi ke- 1 ------
102 |111 |55 |89 |30 |
34 |59 |19 |50 |48 |
57 |98 |116 |72 |79 |
109 |123 |97 |3 |16 |
84 |46 |28 |7 |82 |

----- Sisi ke- 2 ------
26 |24 |43 |61 |120 |
125 |23 |118 |91 |2 |
31 |71 |73 |39 |42 |
38 |81 |60 |104 |1 |
124 |67 |14 |76 |6 |

----- Sisi ke- 3 ------
33 |17 |86 |87 |54 |
75 |100 |12 |52 |94 |
70 |74 |22 |51 |106 |
65 |4 |122 |99 |13 |
96 |107 |66 |27 |85 |

----- Sisi ke- 4 ------
110 |92 |103 |45 |80 |
10 |37 |47 |5 |25 |
35 |117 |112 |29 |9 |
40 |8 |121 |95 |113 |
78 |18 |77 |15 |90 |

----- Sisi ke- 5 ------
56 |11 |114 |108 |62 |
83 |105 |69 |32 |21 |
68 |49 |115 |119 |64 |
63 |36 |101 |53 |44 |
41 |20 |88 |58 |93 |
```

Sisi ke sumbu z

```
----- Sisi ke- 1 ------
102 |34 |57 |109 |84 |
26 |125 |31 |38 |124 |
33 |75 |70 |65 |96 |
110 |10 |35 |40 |78 |
56 |83 |68 |63 |41 |

----- Sisi ke- 2 ------
111 |59 |98 |123 |46 |
24 |23 |71 |81 |67 |
17 |100 |74 |4 |107 |
92 |37 |117 |8 |18 |
11 |105 |49 |36 |20 |

----- Sisi ke- 3 ------
55 |19 |116 |97 |28 |
43 |118 |73 |60 |14 |
86 |12 |22 |122 |66 |
103 |47 |112 |121 |77 |
114 |69 |115 |101 |88 |

----- Sisi ke- 4 ------
89 |50 |72 |3 |7 |
61 |91 |39 |104 |76 |
87 |52 |51 |99 |27 |
45 |5 |29 |95 |15 |
108 |32 |119 |53 |58 |

----- Sisi ke- 5 ------
30 |48 |79 |16 |82 |
120 |2 |42 |1 |6 |
54 |94 |106 |13 |85 |
80 |25 |9 |113 |90 |
62 |21 |64 |44 |93 |
```

Sisi ke sumbu x

```
----- Sisi ke- 1 ------
39 |89 |40 |73 |78 |
122 |45 |31 |96 |21 |
58 |29 |109 |94 |22 |
111 |34 |53 |8 |112 |
1 |120 |76 |51 |82 |

----- Sisi ke- 2 ------
63 |104 |5 |38 |107 |
59 |35 |105 |98 |23 |
71 |124 |17 |60 |41 |
65 |42 |87 |80 |32 |
52 |14 |110 |28 |114 |

----- Sisi ke- 3 ------
97 |66 |69 |44 |37 |
10 |43 |95 |75 |100 |
64 |68 |55 |62 |56 |
57 |18 |6 |123 |118 |
90 |117 |106 |7 |3 |

----- Sisi ke- 4 ------
26 |46 |125 |61 |47 |
103 |77 |2 |20 |121 |
16 |84 |83 |27 |108 |
70 |88 |79 |93 |4 |
101 |24 |15 |113 |36 |

----- Sisi ke- 5 ------
85 |9 |72 |92 |50 |
19 |115 |102 |25 |48 |
99 |13 |49 |67 |86 |
30 |119 |91 |12 |54 |
74 |33 |11 |116 |81 |
```

Sisi ke sumbu y

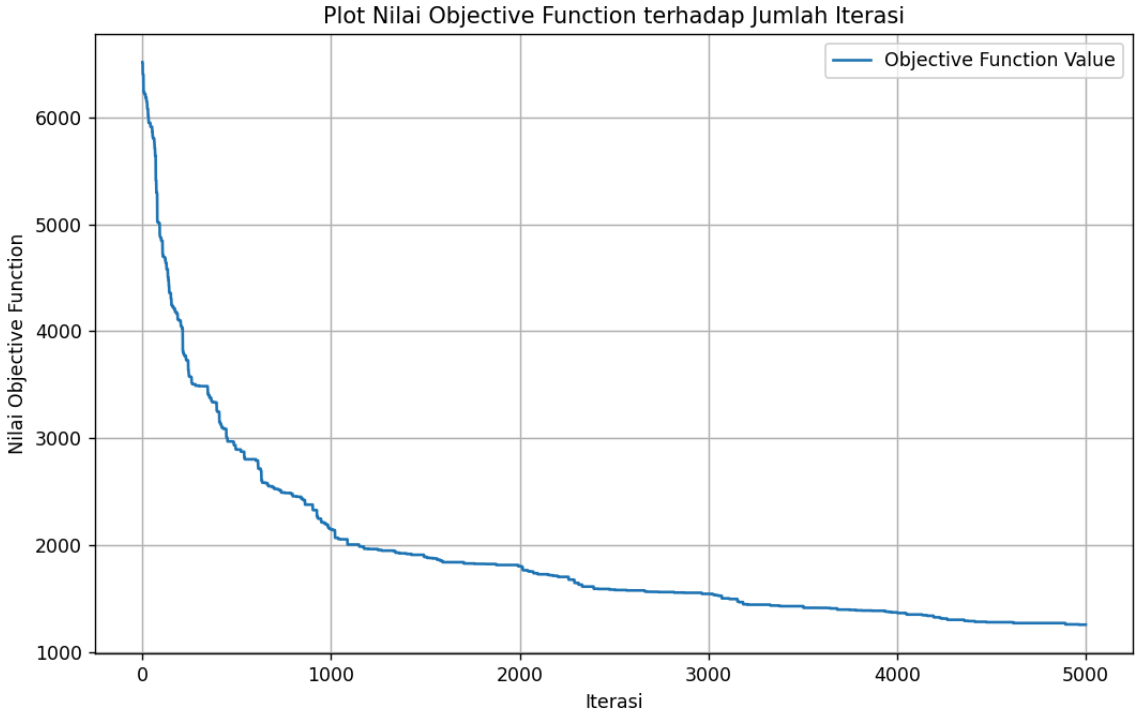
```
----- Sisi ke- 1 ------
39 |122 |58 |111 |1 |
63 |59 |71 |65 |52 |
97 |10 |64 |57 |90 |
26 |103 |16 |70 |101 |
85 |19 |99 |30 |74 |

----- Sisi ke- 2 ------
89 |45 |29 |34 |120 |
104 |35 |124 |42 |14 |
66 |43 |68 |18 |117 |
46 |77 |84 |88 |24 |
9 |115 |13 |119 |33 |

----- Sisi ke- 3 ------
40 |31 |109 |53 |76 |
5 |105 |17 |87 |110 |
69 |95 |55 |6 |106 |
125 |2 |83 |79 |15 |
72 |102 |49 |91 |11 |

----- Sisi ke- 4 ------
73 |96 |94 |8 |51 |
38 |98 |60 |80 |28 |
44 |75 |62 |123 |7 |
61 |20 |27 |93 |113 |
92 |25 |67 |12 |116 |

----- Sisi ke- 5 ------
78 |21 |22 |112 |82 |
107 |23 |41 |32 |114 |
37 |100 |56 |118 |3 |
47 |121 |108 |4 |36 |
50 |48 |86 |54 |81 |
```

Sisi ke sumbu z

```
----- Sisi ke- 1 ------
39 |63 |97 |26 |85 |
89 |104 |66 |46 |9 |
40 |5 |69 |125 |72 |
73 |38 |44 |61 |92 |
78 |107 |37 |47 |50 |

----- Sisi ke- 2 ------
122 |59 |10 |103 |19 |
45 |35 |43 |77 |115 |
31 |105 |95 |2 |102 |
96 |98 |75 |20 |25 |
21 |23 |100 |121 |48 |

----- Sisi ke- 3 ------
58 |71 |64 |16 |99 |
29 |124 |68 |84 |13 |
109 |17 |55 |83 |49 |
94 |60 |62 |27 |67 |
22 |41 |56 |108 |86 |

----- Sisi ke- 4 ------
111 |65 |57 |70 |30 |
34 |42 |18 |88 |119 |
53 |87 |6 |79 |91 |
8 |80 |123 |93 |12 |
112 |32 |118 |4 |54 |

----- Sisi ke- 5 ------
1 |52 |90 |101 |74 |
120 |14 |117 |24 |33 |
76 |110 |106 |15 |11 |
51 |28 |7 |113 |116 |
82 |114 |3 |36 |81 |
```

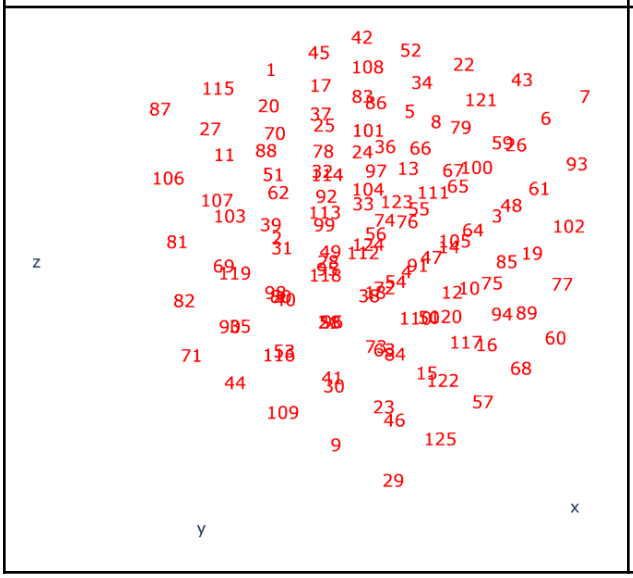
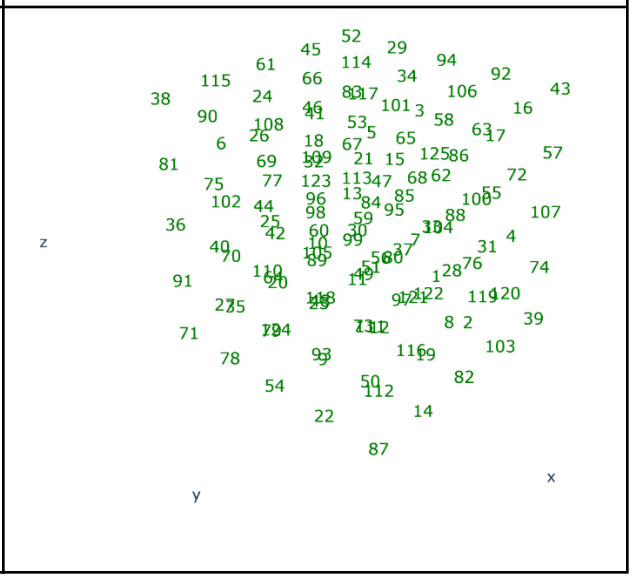
Nilai Objective Function Awal: 6515	Nilai Objective Function Akhir: 1257

Plot Nilai Objective Function:



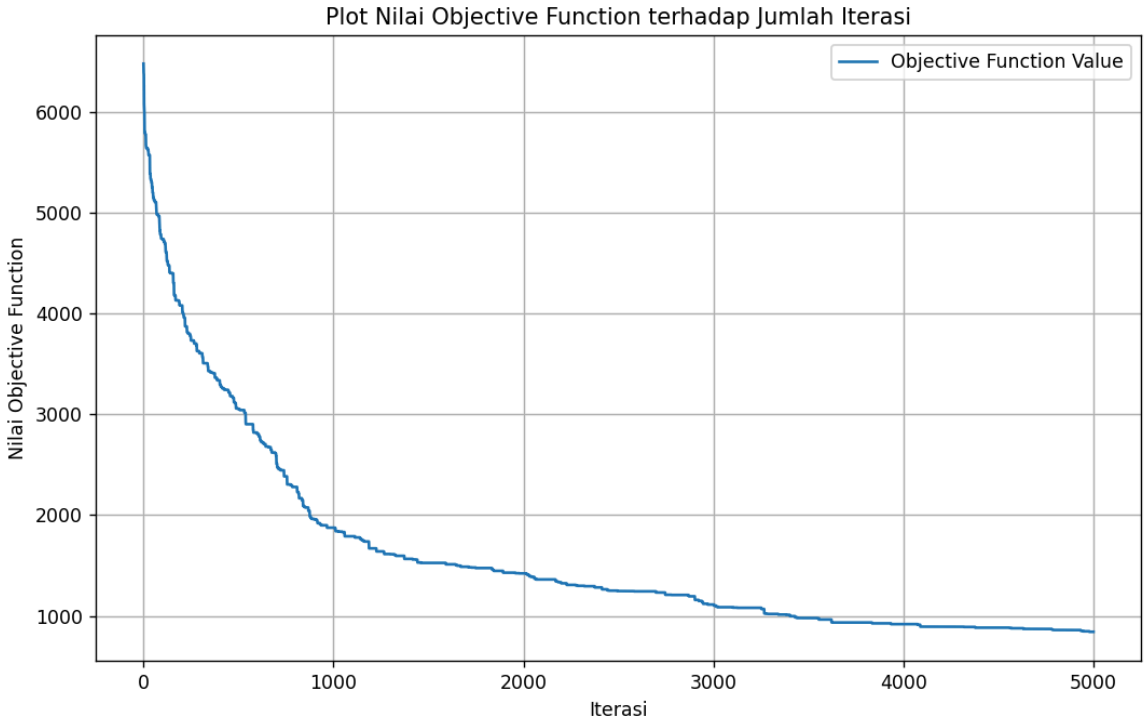
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 5000
Durasi Proses Pencarian: 856 ms

Percobaan 2

State Awal Cube	State Akhir Cube
	

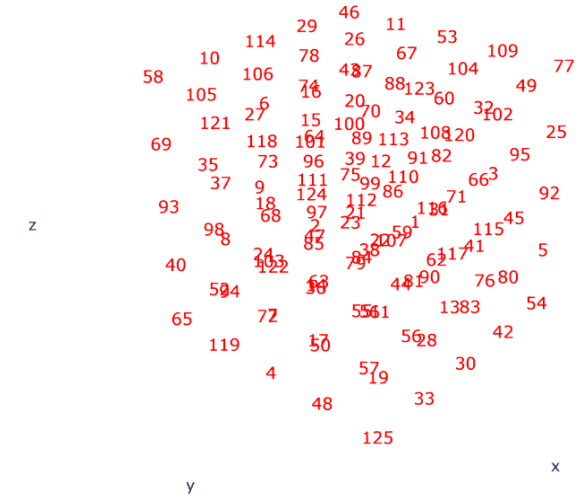
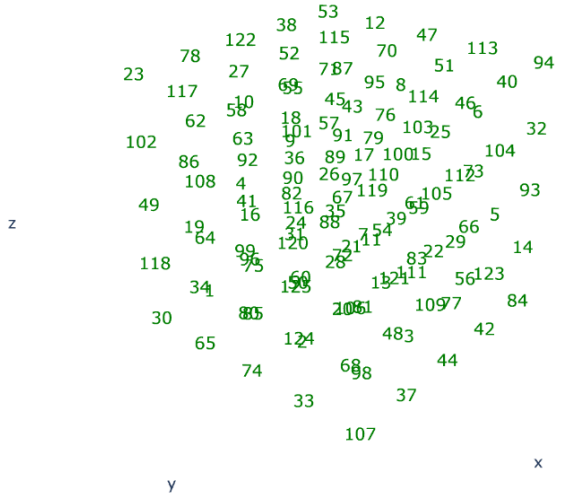
Sisi ke sumbu x ----- Sisi ke- 1 ------ 112 |33 |24 |83 |42 | 4 |76 |13 |5 |52 | 12 |105 |65 |79 |22 | 94 |85 |48 |26 |43 | 60 |77 |102 |93 |7 | ----- Sisi ke- 2 ------ 118 |99 |32 |37 |45 | 38 |124 |104 |101 |108 | 110 |91 |55 |66 |34 | 117 |10 |64 |100 |121 | 68 |89 |19 |61 |6 | ----- Sisi ke- 3 ------ 40 |31 |62 |70 |1 | 21 |95 |113 |78 |17 | 73 |18 |56 |97 |86 | 15 |50 |47 |111 |8 | 57 |16 |75 |3 |59 | ----- Sisi ke- 4 ------ 35 |119 |103 |11 |115 | 53 |80 |2 |51 |20 | 41 |58 |28 |92 |25 | 23 |63 |72 |74 |36 | 125 |122 |120 |14 |67 | ----- Sisi ke- 5 ------ 71 |82 |81 |106 |87 | 44 |90 |69 |107 |27 | 109 |116 |98 |39 |88 | 9 |30 |96 |49 |114 | 29 |46 |84 |54 |123 |	Sisi ke sumbu y ----- Sisi ke- 1 ------ 112 |4 |12 |94 |60 | 118 |38 |110 |117 |68 | 40 |21 |73 |15 |57 | 35 |53 |41 |23 |125 | 71 |44 |109 |9 |29 | ----- Sisi ke- 2 ------ 33 |76 |105 |85 |77 | 99 |124 |91 |10 |89 | 31 |95 |18 |50 |16 | 119 |80 |58 |63 |122 | 82 |90 |116 |30 |46 | ----- Sisi ke- 3 ------ 24 |13 |65 |48 |102 | 32 |104 |55 |64 |19 | 62 |113 |56 |47 |75 | 103 |2 |28 |72 |120 | 81 |69 |98 |96 |84 | ----- Sisi ke- 4 ------ 83 |5 |79 |26 |93 | 37 |101 |66 |100 |61 | 70 |78 |97 |111 |3 | 11 |51 |92 |74 |14 | 106 |107 |39 |49 |54 | ----- Sisi ke- 5 ------ 42 |52 |22 |43 |7 | 45 |108 |34 |121 |6 | 1 |17 |86 |8 |59 | 115 |20 |25 |36 |67 | 87 |27 |88 |114 |123 |	Sisi ke sumbu z ----- Sisi ke- 1 ------ 112 |118 |40 |35 |71 | 33 |99 |31 |119 |82 | 24 |32 |62 |103 |81 | 83 |37 |70 |11 |106 | 42 |45 |1 |115 |87 | ----- Sisi ke- 2 ------ 4 |38 |21 |53 |44 | 76 |124 |95 |80 |90 | 13 |104 |113 |2 |69 | 5 |101 |78 |51 |107 | 52 |108 |17 |20 |27 | ----- Sisi ke- 3 ------ 12 |110 |73 |41 |109 | 105 |91 |18 |58 |116 | 65 |55 |56 |28 |98 | 79 |66 |97 |92 |39 | 22 |34 |86 |25 |88 | ----- Sisi ke- 4 ------ 94 |117 |15 |23 |9 | 85 |10 |50 |63 |30 | 48 |64 |47 |72 |96 | 26 |100 |111 |74 |49 | 43 |121 |8 |36 |114 | ----- Sisi ke- 5 ------ 60 |68 |57 |125 |29 | 77 |89 |16 |122 |46 | 102 |19 |75 |120 |84 | 93 |61 |3 |14 |54 | 7 |6 |59 |67 |123 |	Sisi ke sumbu x ----- Sisi ke- 1 ------ 99 |13 |67 |83 |52 | 80 |95 |15 |101 |29 | 1 |104 |62 |58 |94 | 119 |31 |55 |17 |92 | 39 |74 |107 |57 |43 | ----- Sisi ke- 2 ------ 89 |98 |32 |46 |45 | 11 |30 |113 |53 |114 | 97 |37 |85 |65 |34 | 8 |28 |88 |86 |106 | 103 |120 |4 |72 |16 | ----- Sisi ke- 3 ------ 20 |42 |77 |108 |61 | 23 |105 |96 |18 |66 | 73 |49 |59 |21 |117 | 116 |121 |7 |68 |3 | 82 |2 |76 |100 |63 | ----- Sisi ke- 4 ------ 35 |70 |102 |6 |115 | 124 |64 |25 |69 |24 | 93 |48 |10 |123 |41 | 50 |111 |51 |84 |5 | 14 |19 |122 |33 |125 | ----- Sisi ke- 5 ------ 71 |91 |36 |81 |38 | 78 |27 |40 |75 |90 | 54 |79 |110 |44 |26 | 22 |9 |118 |60 |109 | 87 |112 |12 |56 |47 |	Sisi ke sumbu y ----- Sisi ke- 1 ------ 99 |80 |1 |119 |39 | 89 |11 |97 |8 |103 | 20 |23 |73 |116 |82 | 35 |124 |93 |50 |14 | 71 |78 |54 |22 |87 | ----- Sisi ke- 2 ------ 13 |95 |104 |31 |74 | 98 |30 |37 |28 |120 | 42 |105 |49 |121 |2 | 70 |64 |48 |111 |19 | 91 |27 |79 |9 |112 | ----- Sisi ke- 3 ------ 67 |15 |62 |55 |107 | 32 |113 |85 |88 |4 | 77 |96 |59 |7 |76 | 102 |25 |10 |51 |122 | 36 |40 |110 |118 |12 | ----- Sisi ke- 4 ------ 83 |101 |58 |17 |57 | 46 |53 |65 |86 |72 | 108 |18 |21 |68 |100 | 6 |69 |123 |84 |33 | 81 |75 |44 |60 |56 | ----- Sisi ke- 5 ------ 52 |29 |94 |92 |43 | 45 |114 |34 |106 |16 | 61 |66 |117 |3 |63 | 115 |24 |41 |5 |125 | 38 |90 |26 |109 |47 |	Sisi ke sumbu z ----- Sisi ke- 1 ------ 99 |89 |20 |35 |71 | 13 |98 |42 |70 |91 | 67 |32 |77 |102 |36 | 83 |46 |108 |6 |81 | 52 |45 |61 |115 |38 | ----- Sisi ke- 2 ------ 80 |11 |23 |124 |78 | 95 |30 |105 |64 |27 | 15 |113 |96 |25 |40 | 101 |53 |18 |69 |75 | 29 |114 |66 |24 |90 | ----- Sisi ke- 3 ------ 1 |97 |73 |93 |54 | 104 |37 |49 |48 |79 | 62 |85 |59 |10 |110 | 58 |65 |21 |123 |44 | 94 |34 |117 |41 |26 | ----- Sisi ke- 4 ------ 119 |8 |116 |50 |22 | 31 |28 |121 |111 |9 | 55 |88 |7 |51 |118 | 17 |86 |68 |84 |60 | 92 |106 |3 |5 |109 | ----- Sisi ke- 5 ------ 39 |103 |82 |14 |87 | 74 |120 |2 |19 |112 | 107 |4 |76 |122 |12 | 57 |72 |100 |33 |56 | 43 |16 |63 |125 |47 |	
Nilai Objective Function Awal: 6476			Nilai Objective Function Akhir: 844		

Plot Nilai Objective Function:



Banyak Iterasi yang Dilakukan: 5000
Durasi Proses Pencarian: 914 ms

Percobaan 3

<table>
<tr><td>State Awal Cube</td><td>State Akhir Cube</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>Sisi ke sumbu x

----- Sisi ke- 1 ------
23 |75 |100 |43 |46 |
107 |86 |113 |88 |11 |
62 |31 |82 |60 |53 |
76 |115 |3 |102 |109 |
54 |5 |92 |25 |77 |

----- Sisi ke- 2 ------
85 |124 |101 |74 |29 |
79 |21 |39 |20 |26 |
44 |59 |110 |34 |67 |
13 |117 |71 |120 |104 |
42 |80 |45 |95 |49 |

----- Sisi ke- 3 ------
122 |68 |73 |6 |114 |
36 |47 |111 |15 |78 |
55 |84 |112 |89 |87 |
56 |81 |1 |91 |123 |
30 |83 |41 |66 |32 |

----- Sisi ke- 4 ------
94 |8 |37 |121 |10 |
7 |103 |18 |118 |106 |
17 |14 |2 |96 |16 |
57 |51 |38 |99 |70 |
33 |28 |90 |116 |108 |

----- Sisi ke- 5 ------
65 |40 |93 |69 |58 |
119 |52 |98 |35 |105 |
4 |72 |24 |9 |27 |
48 |50 |63 |97 |64 |
125 |19 |61 |22 |12 |</td><td>Sisi ke sumbu y

----- Sisi ke- 1 ------
23 |107 |62 |76 |54 |
85 |79 |44 |13 |42 |
122 |36 |55 |56 |30 |
94 |7 |17 |57 |33 |
65 |119 |4 |48 |125 |

----- Sisi ke- 2 ------
75 |86 |31 |115 |5 |
124 |21 |59 |117 |80 |
68 |47 |84 |81 |83 |
8 |103 |14 |51 |28 |
40 |52 |72 |50 |19 |

----- Sisi ke- 3 ------
100 |113 |82 |3 |92 |
101 |39 |110 |71 |45 |
73 |111 |112 |1 |41 |
37 |18 |2 |38 |90 |
93 |98 |24 |63 |61 |

----- Sisi ke- 4 ------
43 |88 |60 |102 |25 |
74 |20 |34 |120 |95 |
6 |15 |89 |91 |66 |
121 |118 |96 |99 |116 |
69 |35 |9 |97 |22 |

----- Sisi ke- 5 ------
46 |11 |53 |109 |77 |
29 |26 |67 |104 |49 |
114 |78 |87 |123 |32 |
10 |106 |16 |70 |108 |
58 |105 |27 |64 |12 |</td><td>Sisi ke sumbu z

----- Sisi ke- 1 ------
23 |85 |122 |94 |65 |
75 |124 |68 |8 |40 |
100 |101 |73 |37 |93 |
43 |74 |6 |121 |69 |
46 |29 |114 |10 |58 |

----- Sisi ke- 2 ------
107 |79 |36 |7 |119 |
86 |21 |47 |103 |52 |
113 |39 |111 |18 |98 |
88 |20 |15 |118 |35 |
11 |26 |78 |106 |105 |

----- Sisi ke- 3 ------
62 |44 |55 |17 |4 |
31 |59 |84 |14 |72 |
82 |110 |112 |2 |24 |
60 |34 |89 |96 |9 |
53 |67 |87 |16 |27 |

----- Sisi ke- 4 ------
76 |13 |56 |57 |48 |
115 |117 |81 |51 |50 |
3 |71 |1 |38 |63 |
102 |120 |91 |99 |97 |
109 |104 |123 |70 |64 |

----- Sisi ke- 5 ------
54 |42 |30 |33 |125 |
5 |80 |83 |28 |19 |
92 |45 |41 |90 |61 |
25 |95 |66 |116 |22 |
77 |49 |32 |108 |12 |</td><td>Sisi ke sumbu x

----- Sisi ke- 1 ------
88 |26 |57 |71 |53 |
11 |119 |79 |95 |12 |
83 |59 |15 |114 |47 |
56 |66 |73 |6 |113 |
84 |14 |93 |32 |94 |

----- Sisi ke- 2 ------
120 |82 |9 |69 |38 |
28 |35 |89 |45 |115 |
13 |54 |110 |76 |70 |
109 |22 |105 |25 |51 |
42 |123 |5 |104 |40 |

----- Sisi ke- 3 ------
75 |16 |92 |10 |122 |
125 |31 |90 |18 |52 |
20 |72 |67 |91 |87 |
48 |121 |39 |100 |8 |
44 |77 |29 |112 |46 |

----- Sisi ke- 4 ------
1 |64 |108 |62 |78 |
85 |96 |41 |63 |27 |
124 |50 |24 |36 |55 |
68 |106 |21 |97 |43 |
37 |3 |111 |61 |103 |

----- Sisi ke- 5 ------
30 |118 |49 |102 |23 |
65 |34 |19 |86 |117 |
74 |80 |99 |4 |58 |
33 |2 |60 |116 |101 |
107 |98 |81 |7 |17 |</td><td>Sisi ke sumbu y

----- Sisi ke- 1 ------
88 |11 |83 |56 |84 |
120 |28 |13 |109 |42 |
75 |125 |20 |48 |44 |
1 |85 |124 |68 |37 |
30 |65 |74 |33 |107 |

----- Sisi ke- 2 ------
26 |119 |59 |66 |14 |
82 |35 |54 |22 |123 |
16 |31 |72 |121 |77 |
64 |96 |50 |106 |3 |
118 |34 |80 |2 |98 |

----- Sisi ke- 3 ------
57 |79 |15 |73 |93 |
9 |89 |110 |105 |5 |
92 |90 |67 |39 |29 |
108 |41 |24 |21 |111 |
49 |19 |99 |60 |81 |

----- Sisi ke- 4 ------
71 |95 |114 |6 |32 |
69 |45 |76 |25 |104 |
10 |18 |91 |100 |112 |
62 |63 |36 |97 |61 |
102 |86 |4 |116 |7 |

----- Sisi ke- 5 ------
53 |12 |47 |113 |94 |
38 |115 |70 |51 |40 |
122 |52 |87 |8 |46 |
78 |27 |55 |43 |103 |
23 |117 |58 |101 |17 |</td><td>Sisi ke sumbu z

----- Sisi ke- 1 ------
88 |120 |75 |1 |30 |
26 |82 |16 |64 |118 |
57 |9 |92 |108 |49 |
71 |69 |10 |62 |102 |
53 |38 |122 |78 |23 |

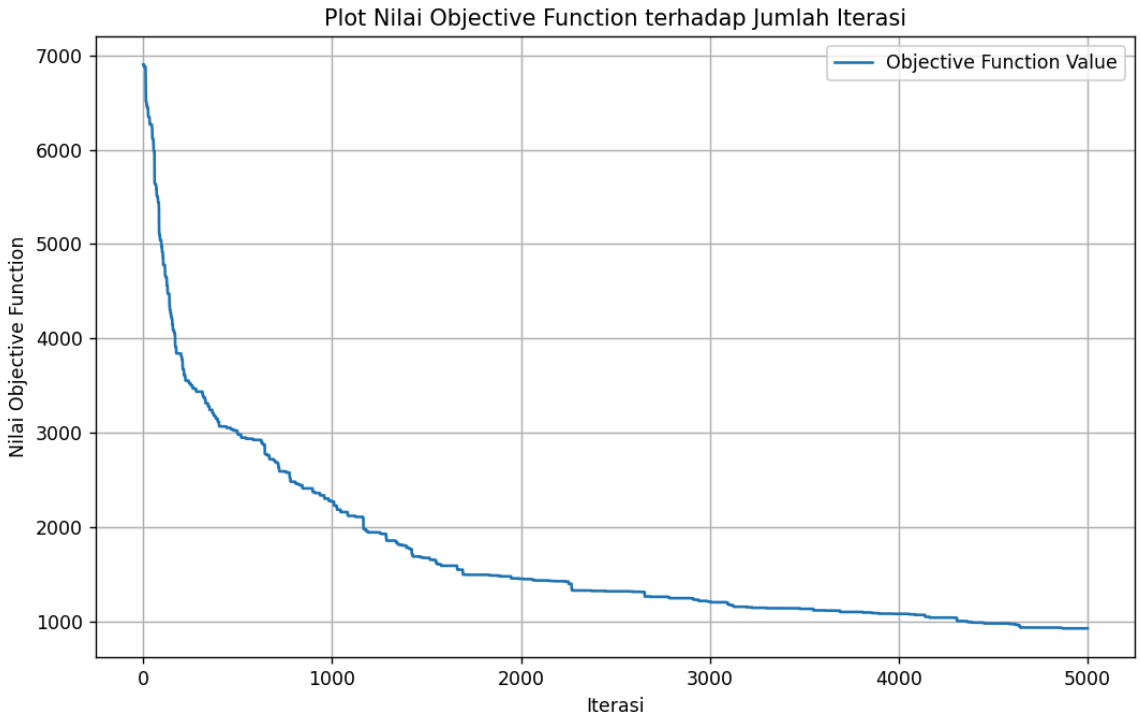
----- Sisi ke- 2 ------
11 |28 |125 |85 |65 |
119 |35 |31 |96 |34 |
79 |89 |90 |41 |19 |
95 |45 |18 |63 |86 |
12 |115 |52 |27 |117 |

----- Sisi ke- 3 ------
83 |13 |20 |124 |74 |
59 |54 |72 |50 |80 |
15 |110 |67 |24 |99 |
114 |76 |91 |36 |4 |
47 |70 |87 |55 |58 |

----- Sisi ke- 4 ------
56 |109 |48 |68 |33 |
66 |22 |121 |106 |2 |
73 |105 |39 |21 |60 |
6 |25 |100 |97 |116 |
113 |51 |8 |43 |101 |

----- Sisi ke- 5 ------
84 |42 |44 |37 |107 |
14 |123 |77 |3 |98 |
93 |5 |29 |111 |81 |
32 |104 |112 |61 |7 |
94 |40 |46 |103 |17 |</td></tr>
<tr><td>Nilai Objective Function Awal: 6903</td><td>Nilai Objective Function Akhir: 924</td></tr>
</table>

Plot Nilai Objective Function:



Banyak Iterasi yang Dilakukan: 5000
Durasi Proses Pencarian: 844 ms

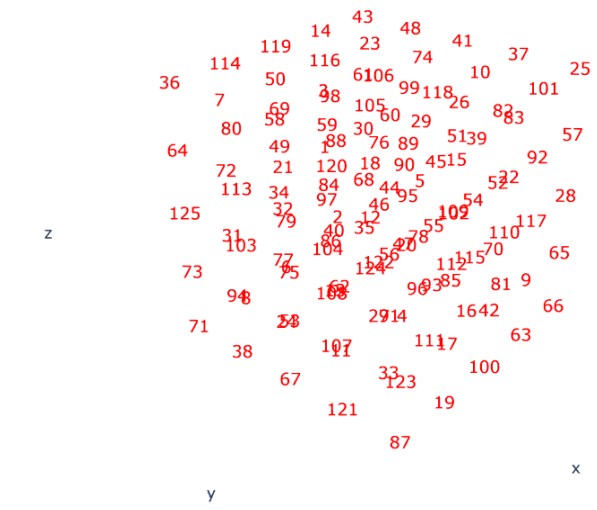
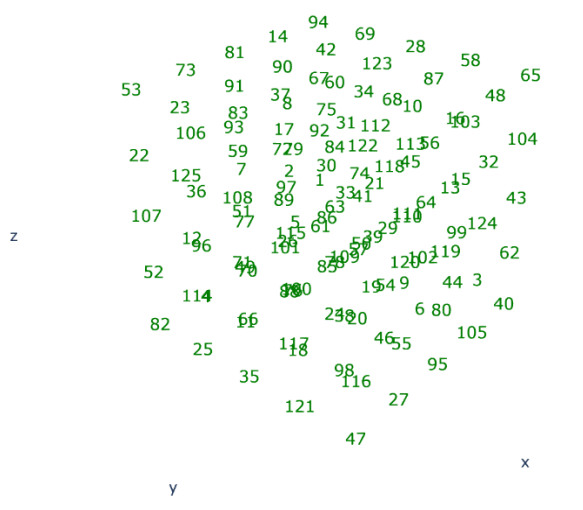
5. Simulated Annealing

Metode Simulated Annealing dimulai dengan membuat sebuah cube yang berisikan angka acak. Lalu, akan dilakukan proses penukaran tiap nilai di dalamnya yang sesuai dengan penjelasan bagian II.2.5. Metode ini memerlukan input parameter berupa T (temperatur), coolingRate (jumlah penurunan temperatur tiap iterasi), dan threshold (ambang batas yang membolehkan perubahan nilai jika kondisi neighbor lebih kecil dari current value).

Lalu, program akan berhenti ketika nilai T sudah mencapai 0 dan/atau sudah mendapatkan nilai maksimal. Dari fungsi ini akan memberikan kondisi terminate berupa nilai cube (kondisi cube akhir), stuck (jumlah ketika nilai neighbor > current value, tetapi probabilitas yang dihasilkan di bawah threshold), duration (durasi waktu yang terjadi dalam proses pencarian), dan plot nilai fungsi objektif terhadap banyak iterasi yang telah dilewati.

Percobaan kali ini dilakukan dengan menetapkan temperatur awal sebesar 10000, penurunan suhu sebesar 0.5, dan threshold sebesar 0.9995 untuk percobaan 1 dan 2. Dan temperatur awal 1000, penurunan suhu 1, dan threshold sebesar 0.5 untuk percobaan 3. Berikut adalah hasil percobaan menggunakan metode Simulated Annealing:

Percobaan 1

State Awal Cube	State Akhir Cube
	

Sisi ke sumbu x

----- Sisi ke- 1 ------

35	68	30	61	43
20	95	89	99	48
112	102	15	26	41
81	110	22	83	37
66	65	28	57	25

----- Sisi ke- 2 ------

104	97	1	3	14
124	12	18	105	23
96	78	5	29	74
16	115	54	39	10
63	9	117	92	101

----- Sisi ke- 3 ------

75	79	21	69	119
108	86	84	59	116
27	122	46	76	106
111	93	55	45	118
100	42	70	52	82

----- Sisi ke- 4 ------

8	103	113	80	114
53	6	32	49	50
107	13	40	120	98
33	91	56	44	60
19	17	85	109	51

----- Sisi ke- 5 ------

71	73	125	64	36
38	94	31	72	7
67	24	77	34	58
121	11	62	2	88
87	123	4	47	90

Sisi ke sumbu y

----- Sisi ke- 1 ------

35	20	112	81	66
104	124	96	16	63
75	108	27	111	100
8	53	107	33	19
71	38	67	121	87

----- Sisi ke- 2 ------

68	95	102	110	65
97	12	78	115	9
79	86	122	93	42
103	6	13	91	17
73	94	24	11	123

----- Sisi ke- 3 ------

30	89	15	22	28
1	18	5	54	117
21	84	46	55	70
113	32	40	56	85
125	31	77	62	4

----- Sisi ke- 4 ------

61	99	26	83	57
3	105	29	39	92
69	59	76	45	52
80	49	120	44	109
64	72	34	2	47

----- Sisi ke- 5 ------

43	48	41	37	25
14	23	74	10	101
119	116	106	118	82
114	50	98	60	51
36	7	58	88	90

Sisi ke sumbu z

----- Sisi ke- 1 ------

35	104	75	8	71
68	97	79	103	73
30	1	21	113	125
61	3	69	80	64
43	14	119	114	36

----- Sisi ke- 2 ------

20	124	108	53	38
95	12	86	6	94
89	18	84	32	31
99	105	59	49	72
48	23	116	50	7

----- Sisi ke- 3 ------

112	96	27	107	67
102	78	122	13	24
15	5	46	40	77
26	29	76	120	34
41	74	106	98	58

----- Sisi ke- 4 ------

81	16	111	33	121
110	115	93	91	11
22	54	55	56	62
83	39	45	44	2
37	10	118	60	88

----- Sisi ke- 5 ------

66	63	100	19	87
65	9	42	17	123
28	117	70	85	4
57	92	52	109	47
25	101	82	51	90

Sisi ke sumbu x

----- Sisi ke- 1 ------

61	1	92	67	94
50	41	122	34	69
120	111	45	10	28
44	99	15	103	58
40	62	43	104	65

----- Sisi ke- 2 ------

101	89	72	37	14
85	86	30	75	42
19	39	21	112	123
6	102	64	56	87
105	3	124	32	48

----- Sisi ke- 3 ------

70	77	7	83	81
88	26	97	17	90
24	78	63	84	60
46	54	29	118	68
95	80	119	13	16

----- Sisi ke- 4 ------

4	96	36	106	73
66	49	51	59	91
117	76	115	2	8
98	38	109	33	31
27	55	9	110	113

----- Sisi ke- 5 ------

82	52	107	22	53
25	114	12	125	23
35	11	71	108	93
121	18	100	5	79
47	116	20	57	74

Sisi ke sumbu y

----- Sisi ke- 1 ------

61	50	120	44	40
101	85	19	6	105
70	88	24	46	95
4	66	117	98	27
82	25	35	121	47

----- Sisi ke- 2 ------

1	41	111	99	62
89	86	39	102	3
77	26	78	54	80
96	49	76	38	55
52	114	11	18	116

----- Sisi ke- 3 ------

92	122	45	15	43
72	30	21	64	124
7	97	63	29	119
36	51	115	109	9
107	12	71	100	20

----- Sisi ke- 4 ------

67	34	10	103	104
37	75	112	56	32
83	17	84	118	13
106	59	2	33	110
22	125	108	5	57

----- Sisi ke- 5 ------

94	69	28	58	65
14	42	123	87	48
81	90	60	68	16
73	91	8	31	113
53	23	93	79	74

Sisi ke sumbu z

----- Sisi ke- 1 ------

61	101	70	4	82
1	89	77	96	52
92	72	7	36	107
67	37	83	106	22
94	14	81	73	53

----- Sisi ke- 2 ------

50	85	88	66	25
41	86	26	49	114
122	30	97	51	12
34	75	17	59	125
69	42	90	91	23

----- Sisi ke- 3 ------

120	19	24	117	35
111	39	78	76	11
45	21	63	115	71
10	112	84	2	108
28	123	60	8	93

----- Sisi ke- 4 ------

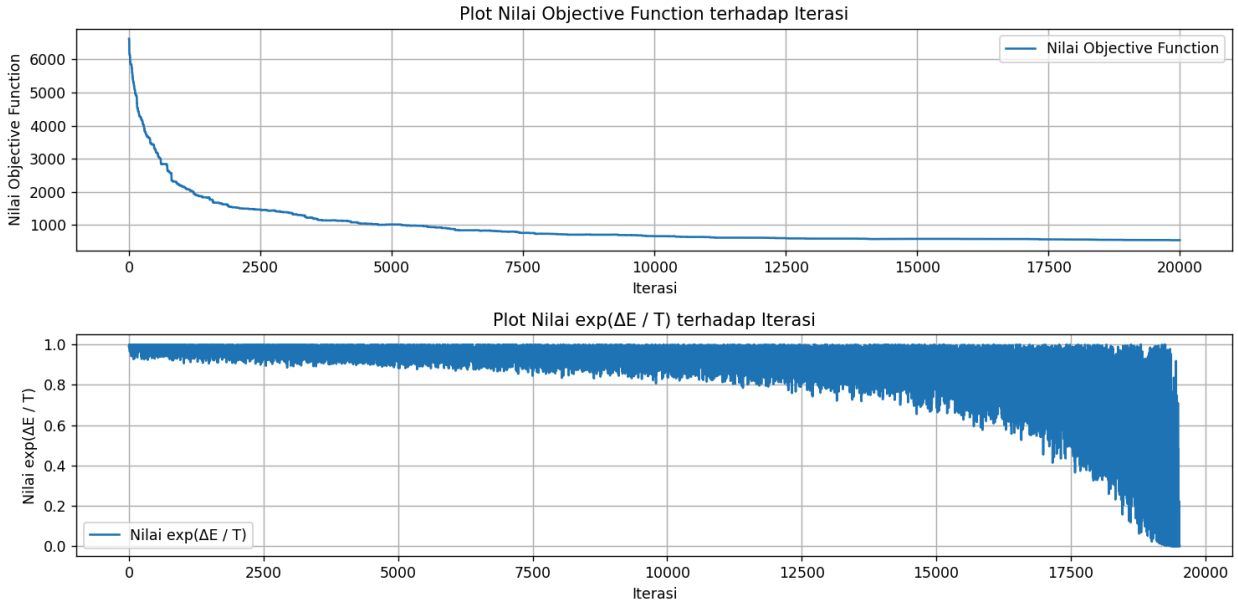
44	6	46	98	121
99	102	54	38	18
15	64	29	109	100
103	56	118	33	5
58	87	68	31	79

----- Sisi ke- 5 ------

40	105	95	27	47
62	3	80	55	116
43	124	119	9	20
104	32	13	110	57
65	48	16	113	74

Nilai Objective Function Awal: 6623	Nilai Objective Function Akhir: 544

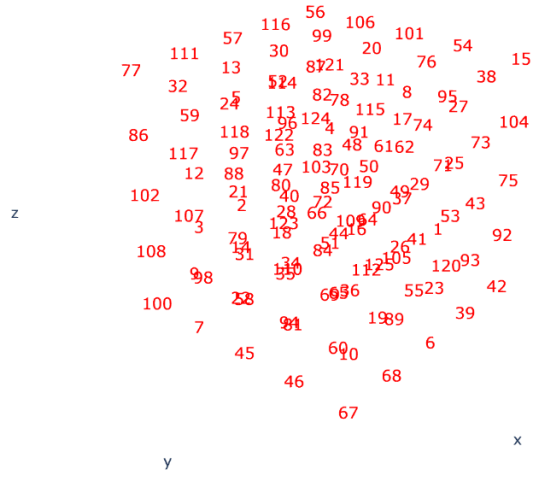
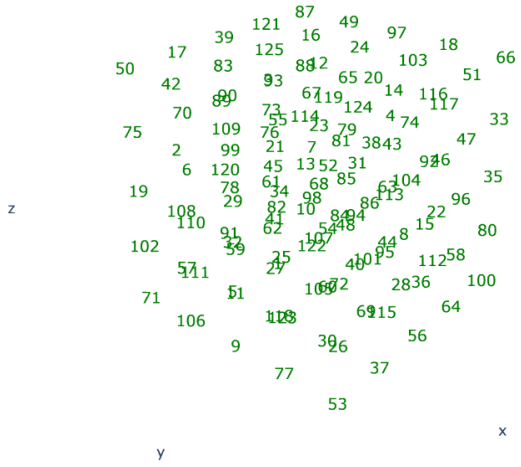
Plot Nilai Objective Function dan Nilai $e^{\frac{\Delta E}{T}}$ terhadap Banyak Iterasi:



Frekuensi Terjadi Stuck: 19196

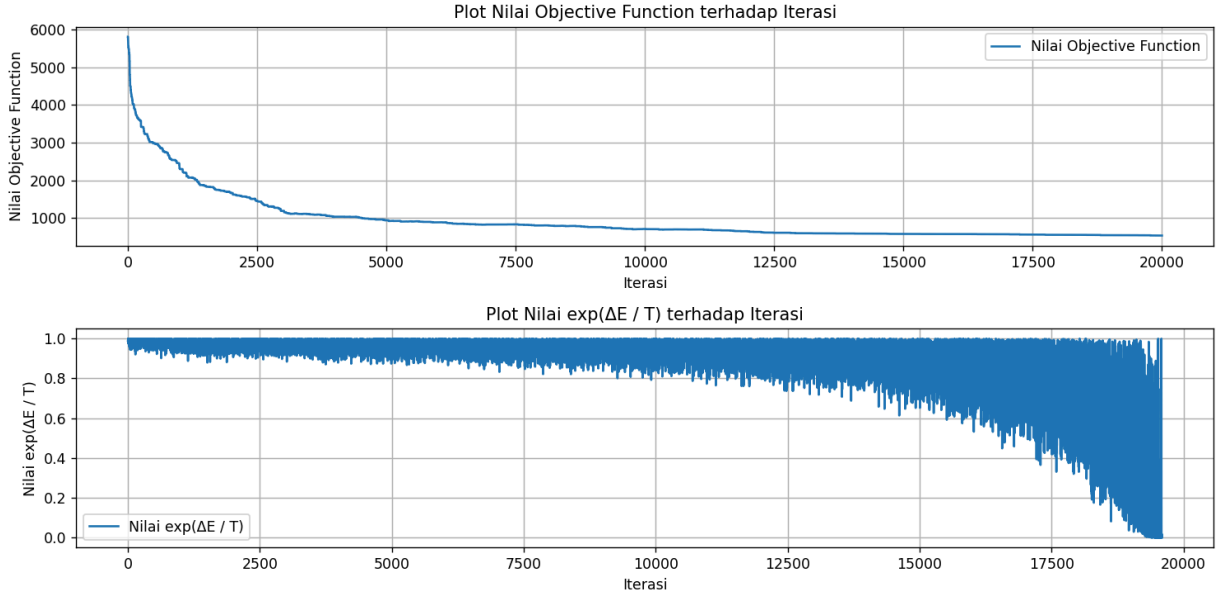
Durasi Proses Pencarian: 23753 ms

Percobaan 2

State Awal Cube	State Akhir Cube
	

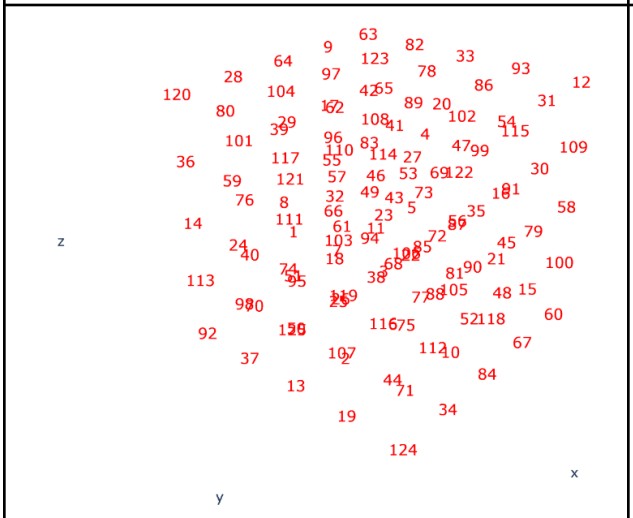
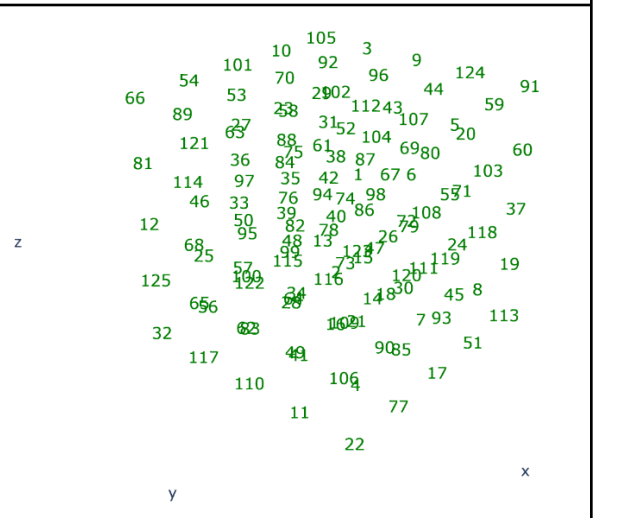
Sisi ke sumbu x	Sisi ke sumbu y	Sisi ke sumbu z	Sisi ke sumbu x	Sisi ke sumbu y	Sisi ke sumbu z
----- Sisi ke- 1 ------ 66 |103 |124 |87 |56 | 16 |119 |91 |33 |106 | 26 |37 |62 |8 |101 | 120 |53 |25 |27 |54 | 42 |92 |75 |104 |15 | ----- Sisi ke- 2 ------ 18 |80 |122 |52 |116 | 84 |72 |83 |82 |99 | 112 |64 |50 |115 |20 | 55 |41 |29 |74 |76 | 39 |93 |43 |73 |38 | ----- Sisi ke- 3 ------ 31 |2 |97 |5 |57 | 35 |123 |47 |113 |30 | 69 |51 |85 |4 |121 | 19 |125 |90 |61 |11 | 6 |23 |1 |71 |95 | ----- Sisi ke- 4 ------ 98 |3 |12 |59 |111 | 58 |14 |21 |118 |13 | 94 |110 |28 |63 |114 | 60 |65 |44 |70 |78 | 68 |89 |105 |49 |17 | ----- Sisi ke- 5 ------ 100 |108 |102 |86 |77 | 7 |9 |107 |117 |32 | 45 |22 |79 |88 |24 | 46 |81 |34 |40 |96 | 67 |10 |36 |109 |48 |	----- Sisi ke- 1 ------ 66 |16 |26 |120 |42 | 18 |84 |112 |55 |39 | 31 |35 |69 |19 |6 | 98 |58 |94 |60 |68 | 100 |7 |45 |46 |67 | ----- Sisi ke- 2 ------ 103 |119 |37 |53 |92 | 80 |72 |64 |41 |93 | 2 |123 |51 |125 |23 | 3 |14 |110 |65 |89 | 108 |9 |22 |81 |10 | ----- Sisi ke- 3 ------ 124 |91 |62 |25 |75 | 122 |83 |50 |29 |43 | 97 |47 |85 |90 |1 | 12 |21 |28 |44 |105 | 102 |107 |79 |34 |36 | ----- Sisi ke- 4 ------ 87 |33 |8 |27 |104 | 52 |82 |115 |74 |73 | 5 |113 |4 |61 |71 | 59 |118 |63 |70 |49 | 86 |117 |88 |40 |109 | ----- Sisi ke- 5 ------ 56 |106 |101 |54 |15 | 116 |99 |20 |76 |38 | 57 |30 |121 |11 |95 | 111 |13 |114 |78 |17 | 77 |32 |24 |96 |48 |	----- Sisi ke- 1 ------ 66 |18 |31 |98 |100 | 103 |80 |2 |3 |108 | 124 |122 |97 |12 |102 | 87 |52 |5 |59 |86 | 56 |116 |57 |111 |77 | ----- Sisi ke- 2 ------ 16 |84 |35 |58 |7 | 119 |72 |123 |14 |9 | 91 |83 |47 |21 |107 | 33 |82 |113 |118 |117 | 106 |99 |30 |13 |32 | ----- Sisi ke- 3 ------ 26 |112 |69 |94 |45 | 37 |64 |51 |110 |22 | 62 |50 |85 |28 |79 | 8 |115 |4 |63 |88 | 101 |20 |121 |114 |24 | ----- Sisi ke- 4 ------ 120 |55 |19 |60 |46 | 53 |41 |125 |65 |81 | 25 |29 |90 |44 |34 | 27 |74 |61 |70 |40 | 54 |76 |11 |78 |96 | ----- Sisi ke- 5 ------ 42 |39 |6 |68 |67 | 92 |93 |23 |89 |10 | 75 |43 |1 |105 |36 | 104 |73 |71 |49 |109 | 15 |38 |95 |17 |48 |	----- Sisi ke- 1 ------ 10 |13 |114 |88 |87 | 48 |85 |79 |65 |49 | 44 |113 |43 |14 |97 | 112 |22 |46 |117 |18 | 100 |80 |35 |33 |66 | ----- Sisi ke- 2 ------ 62 |61 |76 |3 |121 | 122 |98 |7 |67 |16 | 40 |94 |31 |124 |24 | 28 |8 |104 |74 |103 | 64 |58 |96 |47 |51 | ----- Sisi ke- 3 ------ 59 |29 |99 |90 |39 | 27 |41 |45 |73 |125 | 105 |107 |68 |23 |12 | 69 |101 |86 |38 |20 | 56 |36 |15 |92 |116 | ----- Sisi ke- 4 ------ 111 |110 |6 |70 |17 | 11 |32 |78 |109 |83 | 118 |1 |82 |21 |93 | 30 |60 |54 |52 |119 | 37 |115 |95 |63 |4 | ----- Sisi ke- 5 ------ 71 |102 |19 |75 |50 | 106 |57 |108 |2 |42 | 9 |5 |91 |120 |89 | 77 |123 |25 |34 |55 | 53 |26 |72 |84 |81 |	----- Sisi ke- 1 ------ 10 |48 |44 |112 |100 | 62 |122 |40 |28 |64 | 59 |27 |105 |69 |56 | 111 |11 |118 |30 |37 | 71 |106 |9 |77 |53 | ----- Sisi ke- 2 ------ 13 |85 |113 |22 |80 | 61 |98 |94 |8 |58 | 29 |41 |107 |101 |36 | 110 |32 |1 |60 |115 | 102 |57 |5 |123 |26 | ----- Sisi ke- 3 ------ 114 |79 |43 |46 |35 | 76 |7 |31 |104 |96 | 99 |45 |68 |86 |15 | 6 |78 |82 |54 |95 | 19 |108 |91 |25 |72 | ----- Sisi ke- 4 ------ 88 |65 |14 |117 |33 | 3 |67 |124 |74 |47 | 90 |73 |23 |38 |92 | 70 |109 |21 |52 |63 | 75 |2 |120 |34 |84 | ----- Sisi ke- 5 ------ 87 |49 |97 |18 |66 | 121 |16 |24 |103 |51 | 39 |125 |12 |20 |116 | 17 |83 |93 |119 |4 | 50 |42 |89 |55 |81 |	----- Sisi ke- 1 ------ 10 |62 |59 |111 |71 | 13 |61 |29 |110 |102 | 114 |76 |99 |6 |19 | 88 |3 |90 |70 |75 | 87 |121 |39 |17 |50 | ----- Sisi ke- 2 ------ 48 |122 |27 |11 |106 | 85 |98 |41 |32 |57 | 79 |7 |45 |78 |108 | 65 |67 |73 |109 |2 | 49 |16 |125 |83 |42 | ----- Sisi ke- 3 ------ 44 |40 |105 |118 |9 | 113 |94 |107 |1 |5 | 43 |31 |68 |82 |91 | 14 |124 |23 |21 |120 | 97 |24 |12 |93 |89 | ----- Sisi ke- 4 ------ 112 |28 |69 |30 |77 | 22 |8 |101 |60 |123 | 46 |104 |86 |54 |25 | 117 |74 |38 |52 |34 | 18 |103 |20 |119 |55 | ----- Sisi ke- 5 ------ 100 |64 |56 |37 |53 | 80 |58 |36 |115 |26 | 35 |96 |15 |95 |72 | 33 |47 |92 |63 |84 | 66 |51 |116 |4 |81 |
Nilai Objective Function Awal: 5831			Nilai Objective Function Akhir: 534		

Plot Nilai Objective Function dan Nilai $e^{\frac{\Delta E}{T}}$ terhadap Banyak Iterasi:



Frekuensi Terjadi Stuck: 19294
Durasi Proses Pencarian: 26302 ms

Percobaan 3

State Awal Cube	State Akhir Cube
	

Sisi ke sumbu x

----- Sisi ke- 1 ------

94	49	83	42	63
22	5	27	89	82
81	87	122	102	33
48	45	91	115	93
60	100	58	109	12

----- Sisi ke- 2 ------

18	66	55	17	9
38	11	46	108	123
77	85	73	4	78
52	90	35	99	86
67	15	79	30	31

----- Sisi ke- 3 ------

95	1	121	29	64
25	7	32	96	97
116	3	23	114	65
112	88	72	69	20
84	118	21	16	54

----- Sisi ke- 4 ------

70	40	76	101	28
50	51	111	117	104
107	26	103	57	62
44	6	68	43	41
34	10	105	56	47

----- Sisi ke- 5 ------

92	113	14	36	120
37	98	24	59	80
13	125	74	8	39
19	2	119	61	110
124	71	75	106	53

Sisi ke sumbu y

----- Sisi ke- 1 ------

94	22	81	48	60
18	38	77	52	67
95	25	116	112	84
70	50	107	44	34
92	37	13	19	124

----- Sisi ke- 2 ------

49	5	87	45	100
66	11	85	90	15
1	7	3	88	118
40	51	26	6	10
113	98	125	2	71

----- Sisi ke- 3 ------

83	27	122	91	58
55	46	73	35	79
121	32	23	72	21
76	111	103	68	105
14	24	74	119	75

----- Sisi ke- 4 ------

42	89	102	115	109
17	108	4	99	30
29	96	114	69	16
101	117	57	43	56
36	59	8	61	106

----- Sisi ke- 5 ------

63	82	33	93	12
9	123	78	86	31
64	97	65	20	54
28	104	62	41	47
120	80	39	110	53

Sisi ke sumbu z

----- Sisi ke- 1 ------

94	18	95	70	92
49	66	1	40	113
83	55	121	76	14
42	17	29	101	36
63	9	64	28	120

----- Sisi ke- 2 ------

22	38	25	50	37
5	11	7	51	98
27	46	32	111	24
89	108	96	117	59
82	123	97	104	80

----- Sisi ke- 3 ------

81	77	116	107	13
87	85	3	26	125
122	73	23	103	74
102	4	114	57	8
33	78	65	62	39

----- Sisi ke- 4 ------

48	52	112	44	19
45	90	88	6	2
91	35	72	68	119
115	99	69	43	61
93	86	20	41	110

----- Sisi ke- 5 ------

60	67	84	34	124
100	15	118	10	71
58	79	21	105	75
109	30	16	56	106
12	31	54	47	53

Sisi ke sumbu x

----- Sisi ke- 1 ------

13	94	61	29	105
15	86	87	112	3
120	79	6	107	9
45	24	71	20	124
113	19	37	60	91

----- Sisi ke- 2 ------

115	39	84	23	10
116	78	42	31	92
14	47	98	104	96
7	111	108	80	44
51	8	118	103	59

----- Sisi ke- 3 ------

122	95	97	27	101
28	99	76	88	70
16	2	40	38	102
90	18	26	67	43
17	93	119	55	5

----- Sisi ke- 4 ------

56	25	46	121	54
83	100	50	36	53
49	64	48	35	58
106	109	73	74	52
77	85	30	72	69

----- Sisi ke- 5 ------

32	125	12	81	66
117	65	68	114	89
110	62	57	33	63
11	41	34	82	75
22	4	21	123	1

Sisi ke sumbu y

----- Sisi ke- 1 ------

13	15	120	45	113
115	116	14	7	51
122	28	16	90	17
56	83	49	106	77
32	117	110	11	22

----- Sisi ke- 2 ------

94	86	79	24	19
39	78	47	111	8
95	99	2	18	93
25	100	64	109	85
125	65	62	41	4

----- Sisi ke- 3 ------

61	87	6	71	37
84	42	98	108	118
97	76	40	26	119
46	50	48	73	30
12	68	57	34	21

----- Sisi ke- 4 ------

29	112	107	20	60
23	31	104	80	103
27	88	38	67	55
121	36	35	74	72
81	114	33	82	123

----- Sisi ke- 5 ------

105	3	9	124	91
10	92	96	44	59
101	70	102	43	5
54	53	58	52	69
66	89	63	75	1

Sisi ke sumbu z

----- Sisi ke- 1 ------

13	115	122	56	32
94	39	95	25	125
61	84	97	46	12
29	23	27	121	81
105	10	101	54	66

----- Sisi ke- 2 ------

15	116	28	83	117
86	78	99	100	65
87	42	76	50	68
112	31	88	36	114
3	92	70	53	89

----- Sisi ke- 3 ------

120	14	16	49	110
79	47	2	64	62
6	98	40	48	57
107	104	38	35	33
9	96	102	58	63

----- Sisi ke- 4 ------

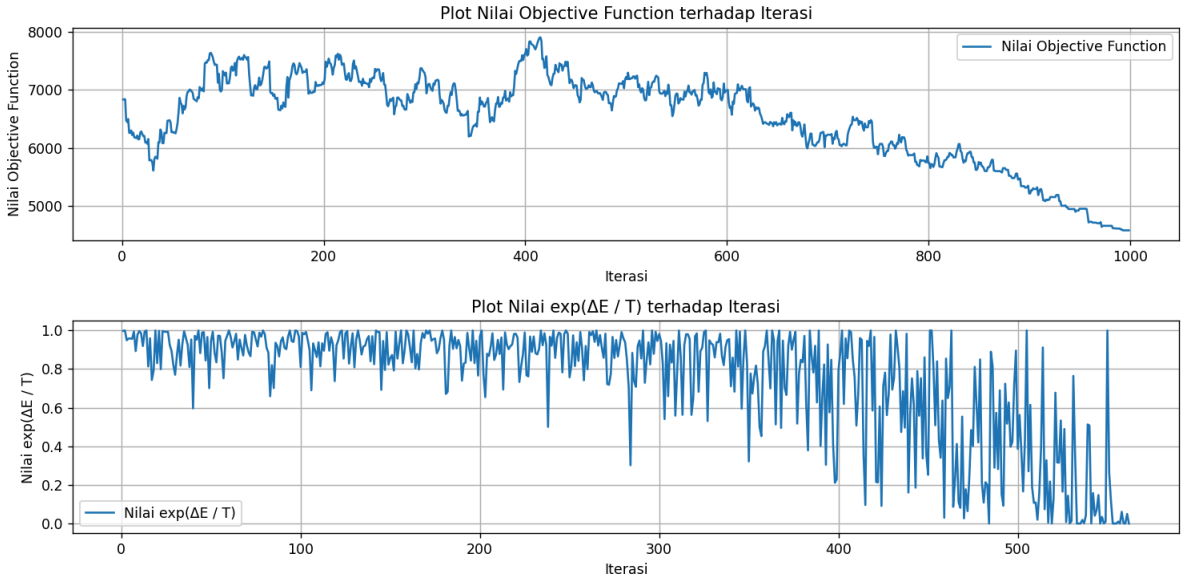
45	7	90	106	11
24	111	18	109	41
71	108	26	73	34
20	80	67	74	82
124	44	43	52	75

----- Sisi ke- 5 ------

113	51	17	77	22
19	8	93	85	4
37	118	119	30	21
60	103	55	72	123
91	59	5	69	1

Nilai Objective Function Awal: 6833	Nilai Objective Function Akhir: 4581

Plot Nilai Objective Function dan Nilai $e^{\frac{\Delta E}{T}}$ Terhadap Banyak Iterasi:



Frekuensi Terjadi Stuck: 102

Durasi Proses Pencarian: 1093 ms

6. Genetic Algorithm

Metode Genetic Algorithm akan menerima input parameter berupa nilai jumlah populasi dan banyak iterasi. Lalu, akan dibuat cube setara dengan jumlah populasi yang diberikan. Setiap cube akan dilakukan proses penukaran tiap nilai di dalamnya yang sesuai dengan penjelasan bagian II.2.6.

Program akan berhenti ketika jumlah maksimum iterasi sudah tercapai. Dari fungsi ini juga akan memberikan kondisi terminate berupa nilai cube (kondisi cube akhir), duration (durasi waktu yang terjadi dalam proses pencarian), jumlah populasi, banyak iterasi, dan plot nilai fungsi objektif terhadap banyak iterasi yang telah dilewati.

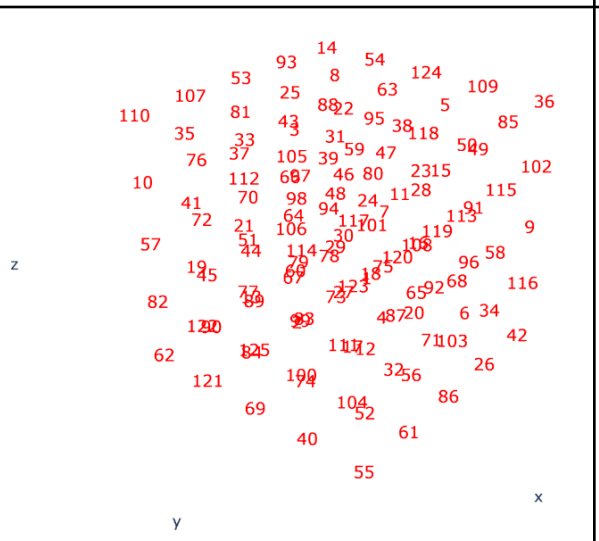
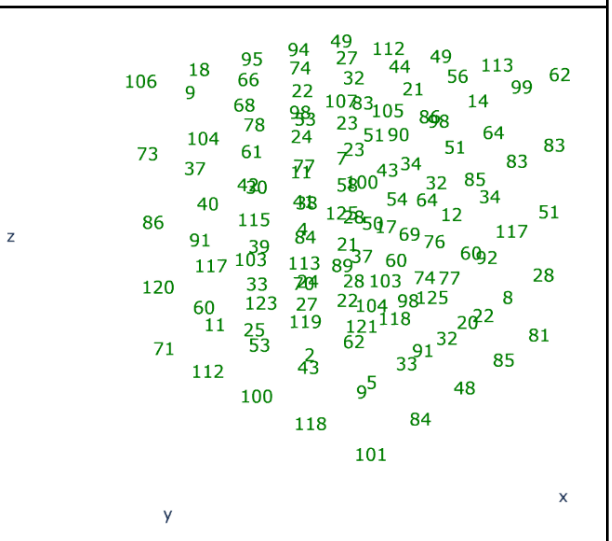
Percobaan ini akan dilakukan 2 variasi, yakni jumlah populasi sebagai kontrol dan jumlah iterasi sebagai kontrol. Berikut adalah hasil percobaan menggunakan metode Genetic Algorithm:

1. Variasi Kontrol Jumlah Populasi:

Variasi ini akan menetapkan jumlah populasi sebanyak 100 sebagai kontrol. Lalu, akan diberikan jumlah maksimum iterasi menjadi 3 jenis, yakni sebesar 10, 100, dan 1000. Berikut adalah hasil percobaan menggunakan metode Genetic Algorithm dengan variansi jumlah populasi sebagai kontrol yang ditetapkan:

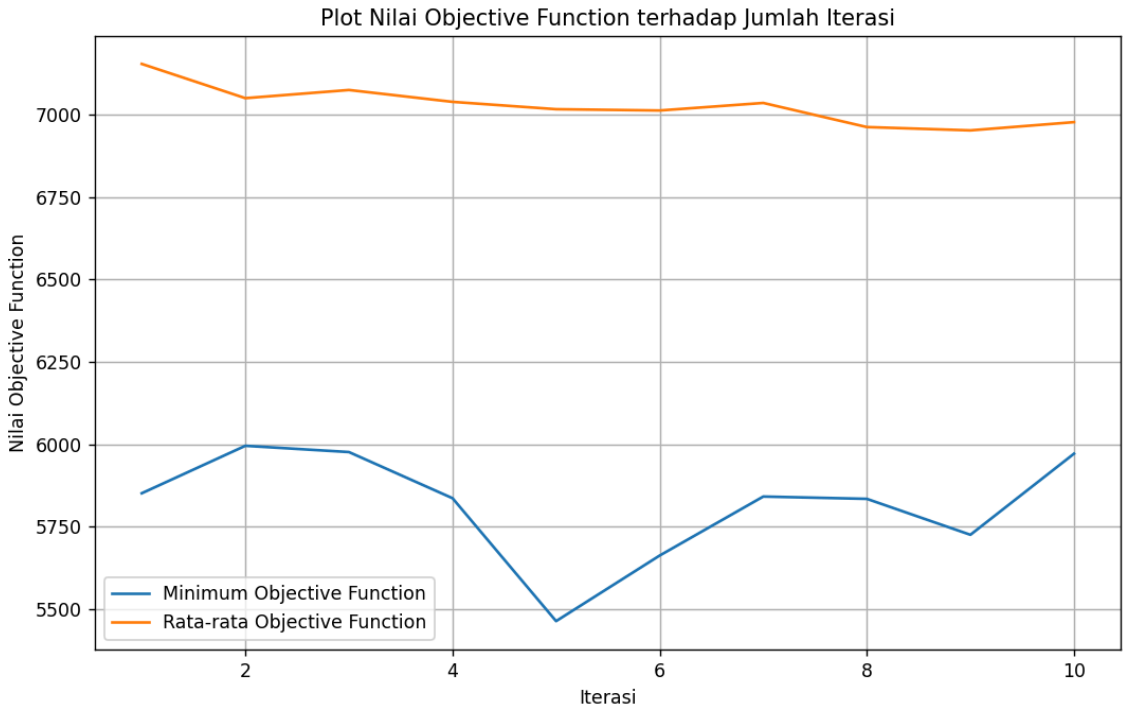
1.1 - Jumlah Maksimum Iterasi 10

Percobaan 1

State Awal Cube			State Akhir Cube		
					
Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z

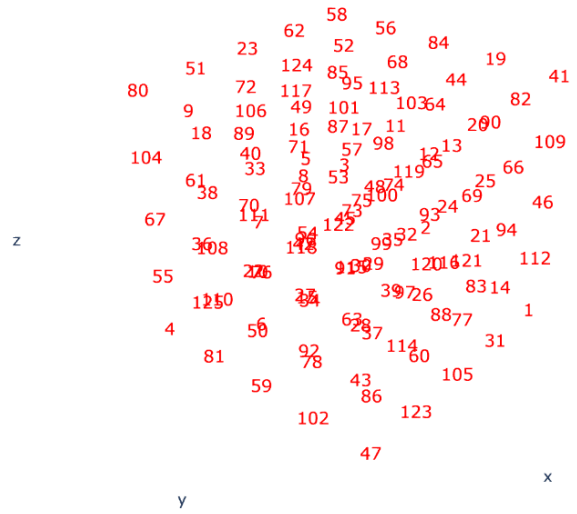
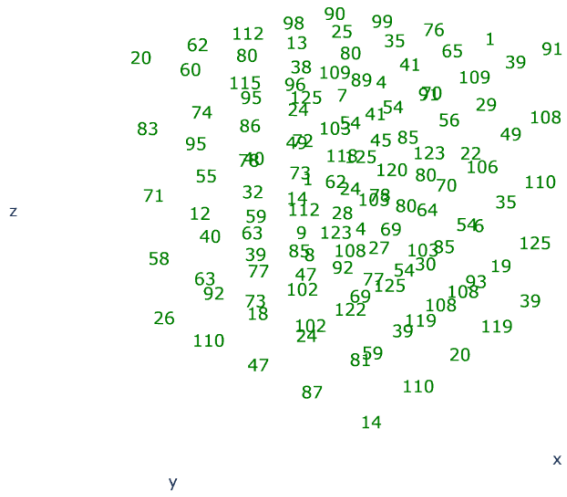
Sisi ke sumbu x	Sisi ke sumbu y	Sisi ke sumbu z	Sisi ke sumbu x	Sisi ke sumbu y	Sisi ke sumbu z
----- Sisi ke- 1 ------ 78 |94 |39 |88 |14 | 18 |101 |80 |95 |54 | 65 |16 |28 |118 |124 | 6 |96 |91 |49 |109 | 42 |116 |9 |102 |36 | ----- Sisi ke- 2 ------ 67 |106 |66 |43 |93 | 73 |29 |48 |31 |8 | 4 |75 |7 |47 |63 | 71 |92 |119 |15 |5 | 26 |34 |58 |115 |85 | ----- Sisi ke- 3 ------ 89 |44 |70 |33 |53 | 2 |60 |64 |105 |25 | 111 |27 |30 |46 |22 | 32 |87 |120 |11 |38 | 86 |103 |68 |113 |50 | ----- Sisi ke- 4 ------ 90 |45 |72 |76 |107 | 125 |13 |51 |112 |81 | 100 |99 |79 |98 |3 | 104 |17 |123 |117 |59 | 61 |56 |20 |108 |23 | ----- Sisi ke- 5 ------ 62 |82 |57 |10 |110 | 121 |122 |19 |41 |35 | 69 |84 |77 |21 |37 | 40 |74 |83 |114 |97 | 55 |52 |12 |1 |24 |	----- Sisi ke- 1 ------ 78 |18 |65 |6 |42 | 67 |73 |4 |71 |26 | 89 |2 |111 |32 |86 | 90 |125 |100 |104 |61 | 62 |121 |69 |40 |55 | ----- Sisi ke- 2 ------ 94 |101 |16 |96 |116 | 106 |29 |75 |92 |34 | 44 |60 |27 |87 |103 | 45 |13 |99 |17 |56 | 82 |122 |84 |74 |52 | ----- Sisi ke- 3 ------ 39 |80 |28 |91 |9 | 66 |48 |7 |119 |58 | 70 |64 |30 |120 |68 | 72 |51 |79 |123 |20 | 57 |19 |77 |83 |12 | ----- Sisi ke- 4 ------ 88 |95 |118 |49 |102 | 43 |31 |47 |15 |115 | 33 |105 |46 |11 |113 | 76 |112 |98 |117 |108 | 10 |41 |21 |114 |1 | ----- Sisi ke- 5 ------ 14 |54 |124 |109 |36 | 93 |8 |63 |5 |85 | 53 |25 |22 |38 |50 | 107 |81 |3 |59 |23 | 110 |35 |37 |97 |24 |	----- Sisi ke- 1 ------ 78 |67 |89 |90 |62 | 94 |106 |44 |45 |82 | 39 |66 |70 |72 |57 | 88 |43 |33 |76 |10 | 14 |93 |53 |107 |110 | ----- Sisi ke- 2 ------ 18 |73 |2 |125 |121 | 101 |29 |60 |13 |122 | 80 |48 |64 |51 |19 | 95 |31 |105 |112 |41 | 54 |8 |25 |81 |35 | ----- Sisi ke- 3 ------ 65 |4 |111 |100 |69 | 16 |75 |27 |99 |84 | 28 |7 |30 |79 |77 | 118 |47 |46 |98 |21 | 124 |63 |22 |3 |37 | ----- Sisi ke- 4 ------ 6 |71 |32 |104 |40 | 96 |92 |87 |17 |74 | 91 |119 |120 |123 |83 | 49 |15 |11 |117 |114 | 109 |5 |38 |59 |97 | ----- Sisi ke- 5 ------ 42 |26 |86 |61 |55 | 116 |34 |103 |56 |52 | 9 |58 |68 |20 |12 | 102 |115 |113 |108 |1 | 36 |85 |50 |23 |24 |	----- Sisi ke- 1 ------ 89 |125 |7 |107 |49 | 103 |17 |43 |105 |112 | 125 |76 |32 |98 |49 | 22 |92 |34 |64 |113 | 81 |28 |51 |83 |62 | ----- Sisi ke- 2 ------ 70 |4 |11 |98 |94 | 22 |21 |58 |23 |27 | 118 |60 |54 |90 |44 | 32 |77 |12 |51 |56 | 85 |8 |117 |83 |99 | ----- Sisi ke- 3 ------ 123 |39 |30 |78 |95 | 119 |113 |41 |24 |74 | 62 |28 |28 |23 |32 | 33 |98 |69 |34 |21 | 48 |20 |60 |85 |14 | ----- Sisi ke- 4 ------ 11 |117 |40 |104 |18 | 53 |33 |115 |61 |66 | 43 |27 |84 |77 |22 | 9 |121 |37 |100 |83 | 84 |91 |74 |64 |86 | ----- Sisi ke- 5 ------ 71 |120 |86 |73 |106 | 112 |60 |91 |37 |9 | 100 |25 |103 |42 |68 | 118 |2 |24 |38 |53 | 101 |5 |104 |50 |51 |	----- Sisi ke- 1 ------ 89 |103 |125 |22 |81 | 70 |22 |118 |32 |85 | 123 |119 |62 |33 |48 | 11 |53 |43 |9 |84 | 71 |112 |100 |118 |101 ----- Sisi ke- 2 ------ 125 |17 |76 |92 |28 | 4 |21 |60 |77 |8 | 39 |113 |28 |98 |20 | 117 |33 |27 |121 |91 | 120 |60 |25 |2 |5 | ----- Sisi ke- 3 ------ 7 |43 |32 |34 |51 | 11 |58 |54 |12 |117 | 30 |41 |28 |69 |60 | 40 |115 |84 |37 |74 | 86 |91 |103 |24 |104 | ----- Sisi ke- 4 ------ 107 |105 |98 |64 |83 | 98 |23 |90 |51 |83 | 78 |24 |23 |34 |85 | 104 |61 |77 |100 |64 | 73 |37 |42 |38 |50 | ----- Sisi ke- 5 ------ 49 |112 |49 |113 |62 | 94 |27 |44 |56 |99 | 95 |74 |32 |21 |14 | 18 |66 |22 |83 |86 | 106 |9 |68 |53 |51 |	----- Sisi ke- 1 ------ 89 |70 |123 |11 |71 | 125 |4 |39 |117 |120 | 7 |11 |30 |40 |86 | 107 |98 |78 |104 |73 | 49 |94 |95 |18 |106 | ----- Sisi ke- 2 ------ 103 |22 |119 |53 |112 | 17 |21 |113 |33 |60 | 43 |58 |41 |115 |91 | 105 |23 |24 |61 |37 | 112 |27 |74 |66 |9 | ----- Sisi ke- 3 ------ 125 |118 |62 |43 |100 | 76 |60 |28 |27 |25 | 32 |54 |28 |84 |103 | 98 |90 |23 |77 |42 | 49 |44 |32 |22 |68 | ----- Sisi ke- 4 ------ 22 |32 |33 |9 |118 | 92 |77 |98 |121 |2 | 34 |12 |69 |37 |24 | 64 |51 |34 |100 |38 | 113 |56 |21 |83 |53 | ----- Sisi ke- 5 ------ 81 |85 |48 |84 |101 | 28 |8 |20 |91 |5 | 51 |117 |60 |74 |104 | 83 |83 |85 |64 |50 | 62 |99 |14 |86 |51 |
Nilai Objective Function Awal: 6965			Nilai Objective Function Akhir: 5971 (Best: 5463)		

Plot Nilai Objective Function Minimum dan Rata-rata:



Nilai Objective Function Terendah dari Populasi Terakhir: 5971
Nilai Objective Function Rata-rata dari Populasi Terakhir: 6977.04
Nilai Objective Function Terbaik dari Seluruh Populasi: 5463
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 10
Durasi Proses Pencarian: 417 ms

Percobaan 2

<table>
<tr><td colspan="3">State Awal Cube</td><td colspan="3">State Akhir Cube</td></tr>
<tr><td colspan="3">  </td><td colspan="3">  </td></tr>
<tr><td>Sumbu X</td><td>Sumbu Y</td><td>Sumbu Z</td><td>Sumbu X</td><td>Sumbu Y</td><td>Sumbu Z</td></tr>
<tr>
<td>
----- Sisi ke- 1 -----
122 |53 |87 |85 |58 |
99 |100 |98 |113 |56 |
120 |93 |65 |64 |84 |
83 |21 |25 |90 |19 |
1 |112 |46 |109 |41 |

----- Sisi ke- 2 -----
118 |107 |71 |117 |62 |
91 |45 |3 |101 |52 |
39 |35 |74 |11 |68 |
88 |116 |24 |13 |44 |
31 |14 |94 |66 |82 |

----- Sisi ke- 3 -----
76 |7 |33 |106 |23 |
27 |42 |79 |16 |124 |
63 |115 |73 |57 |95 |
114 |97 |32 |119 |103 |
105 |77 |121 |69 |20 |

----- Sisi ke- 4 -----
110 |108 |38 |18 |51 |
6 |10 |111 |40 |72 |
92 |15 |96 |8 |49 |
43 |28 |30 |75 |17 |
123 |60 |26 |2 |12 |

----- Sisi ke- 5 -----
4 |55 |67 |104 |80 |
81 |125 |36 |61 |9 |
59 |50 |22 |70 |89 |
102 |78 |34 |54 |5 |
47 |86 |37 |29 |48 |
</td>
<td>
----- Sisi ke- 1 -----
122 |99 |120 |83 |1 |
118 |91 |39 |88 |31 |
76 |27 |63 |114 |105 |
110 |6 |92 |43 |123 |
4 |81 |59 |102 |47 |

----- Sisi ke- 2 -----
53 |100 |93 |21 |112 |
107 |45 |35 |116 |14 |
7 |42 |115 |97 |77 |
108 |10 |15 |28 |60 |
55 |125 |50 |78 |86 |

----- Sisi ke- 3 -----
87 |98 |65 |25 |46 |
71 |3 |74 |24 |94 |
33 |79 |73 |32 |121 |
38 |111 |96 |30 |26 |
67 |36 |22 |34 |37 |

----- Sisi ke- 4 -----
85 |113 |64 |90 |109 |
117 |101 |11 |13 |66 |
106 |16 |57 |119 |69 |
18 |40 |8 |75 |2 |
104 |61 |70 |54 |29 |

----- Sisi ke- 5 -----
58 |56 |84 |19 |41 |
62 |52 |68 |44 |82 |
23 |124 |95 |103 |20 |
51 |72 |49 |17 |12 |
80 |9 |89 |5 |48 |
</td>
<td>
----- Sisi ke- 1 -----
122 |118 |76 |110 |4 |
53 |107 |7 |108 |55 |
87 |71 |33 |38 |67 |
85 |117 |106 |18 |104 |
58 |62 |23 |51 |80 |

----- Sisi ke- 2 -----
99 |91 |27 |6 |81 |
100 |45 |42 |10 |125 |
98 |3 |79 |111 |36 |
113 |101 |16 |40 |61 |
56 |52 |124 |72 |9 |

----- Sisi ke- 3 -----
120 |39 |63 |92 |59 |
93 |35 |115 |15 |50 |
65 |74 |73 |96 |22 |
64 |11 |57 |8 |70 |
84 |68 |95 |49 |89 |

----- Sisi ke- 4 -----
83 |88 |114 |43 |102 |
21 |116 |97 |28 |78 |
25 |24 |32 |30 |34 |
90 |13 |119 |75 |54 |
19 |44 |103 |17 |5 |

----- Sisi ke- 5 -----
1 |31 |105 |123 |47 |
112 |14 |77 |60 |86 |
46 |94 |121 |26 |37 |
109 |66 |69 |2 |29 |
41 |82 |20 |12 |48 |
</td>
<td>
----- Sisi ke- 1 -----
123 |62 |103 |109 |90 |
27 |78 |45 |4 |99 |
30 |64 |123 |70 |76 |
93 |6 |106 |29 |1 |
39 |125 |110 |108 |91 |

----- Sisi ke- 2 -----
85 |14 |49 |96 |98 |
92 |28 |118 |7 |25 |
125 |69 |120 |54 |35 |
108 |85 |70 |56 |65 |
119 |19 |35 |49 |39 |

----- Sisi ke- 3 -----
77 |59 |40 |95 |112 |
102 |9 |73 |24 |13 |
122 |108 |24 |54 |80 |
39 |54 |80 |85 |41 |
20 |108 |54 |22 |109 |

----- Sisi ke- 4 -----
92 |40 |55 |74 |62 |
18 |39 |32 |86 |80 |
24 |47 |112 |72 |38 |
81 |69 |4 |125 |89 |
110 |119 |103 |80 |91 |

----- Sisi ke- 5 -----
26 |58 |71 |83 |20 |
110 |63 |12 |95 |60 |
47 |73 |63 |78 |115 |
87 |102 |8 |1 |125 |
14 |59 |77 |103 |41 |
</td>
<td>
----- Sisi ke- 1 -----
123 |27 |30 |93 |39 |
85 |92 |125 |108 |119 |
77 |102 |122 |39 |20 |
92 |18 |24 |81 |110 |
26 |110 |47 |87 |14 |

----- Sisi ke- 2 -----
62 |78 |64 |6 |125 |
14 |28 |69 |85 |19 |
59 |9 |108 |54 |108 |
40 |39 |47 |69 |119 |
58 |63 |73 |102 |59 |

----- Sisi ke- 3 -----
103 |45 |123 |106 |110 |
49 |118 |120 |70 |35 |
40 |73 |24 |80 |54 |
55 |32 |112 |4 |103 |
71 |12 |63 |8 |77 |

----- Sisi ke- 4 -----
109 |4 |70 |29 |108 |
96 |7 |54 |56 |49 |
95 |24 |54 |85 |22 |
74 |86 |72 |125 |80 |
83 |95 |78 |1 |103 |

----- Sisi ke- 5 -----
90 |99 |76 |1 |91 |
98 |25 |35 |65 |39 |
112 |13 |80 |41 |109 |
62 |80 |38 |89 |91 |
20 |60 |115 |125 |41 |
</td>
<td>
----- Sisi ke- 1 -----
123 |85 |77 |92 |26 |
62 |14 |59 |40 |58 |
103 |49 |40 |55 |71 |
109 |96 |95 |74 |83 |
90 |98 |112 |62 |20 |

----- Sisi ke- 2 -----
27 |92 |102 |18 |110 |
78 |28 |9 |39 |63 |
45 |118 |73 |32 |12 |
4 |7 |24 |86 |95 |
99 |25 |13 |80 |60 |

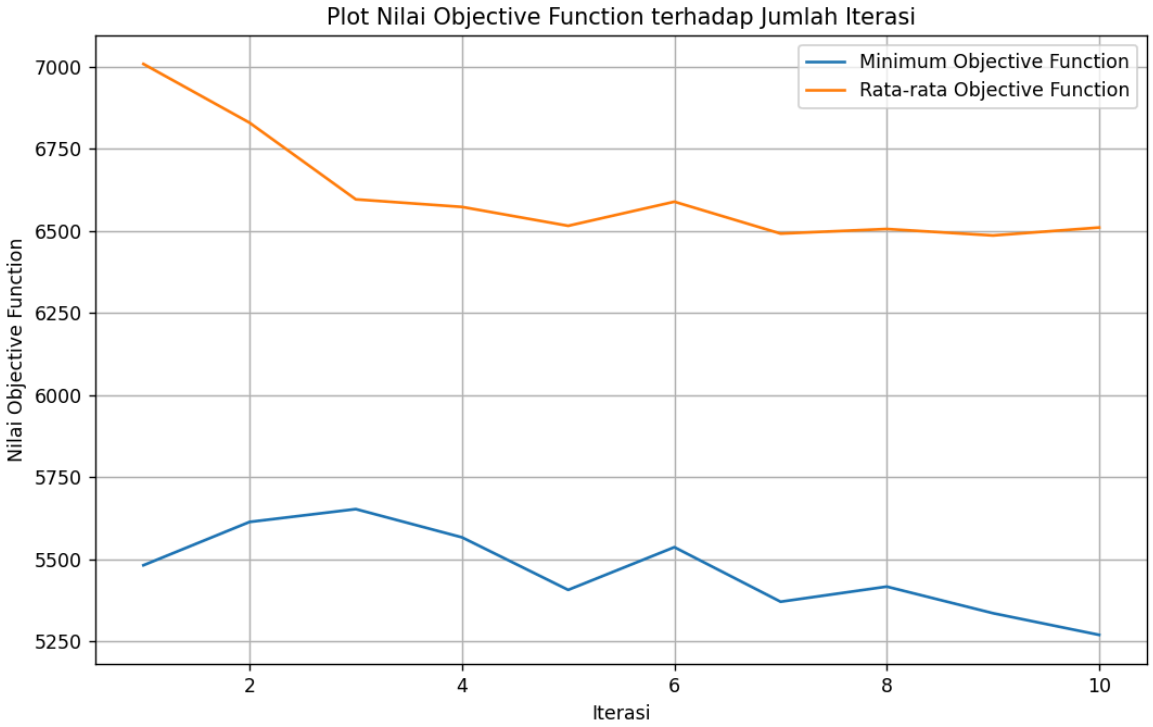
----- Sisi ke- 3 -----
30 |125 |122 |24 |47 |
64 |69 |108 |47 |73 |
123 |120 |24 |112 |63 |
70 |54 |54 |72 |78 |
76 |35 |80 |38 |115 |

----- Sisi ke- 4 -----
93 |108 |39 |81 |87 |
6 |85 |54 |69 |102 |
106 |70 |80 |4 |8 |
29 |56 |85 |125 |1 |
1 |65 |41 |89 |125 |

----- Sisi ke- 5 -----
39 |119 |20 |110 |14 |
125 |19 |108 |119 |59 |
110 |35 |54 |103 |77 |
108 |49 |22 |80 |103 |
91 |39 |109 |91 |41 |
</td>
</tr>
</table>

Nilai Objective Function Awal: 6021	Nilai Objective Function Akhir: 5270 (Best: 5270)

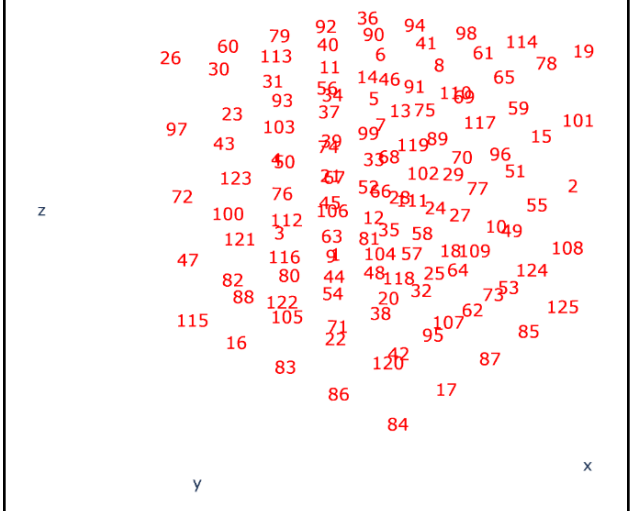
Plot Nilai Objective Function Minimum dan Rata-rata:

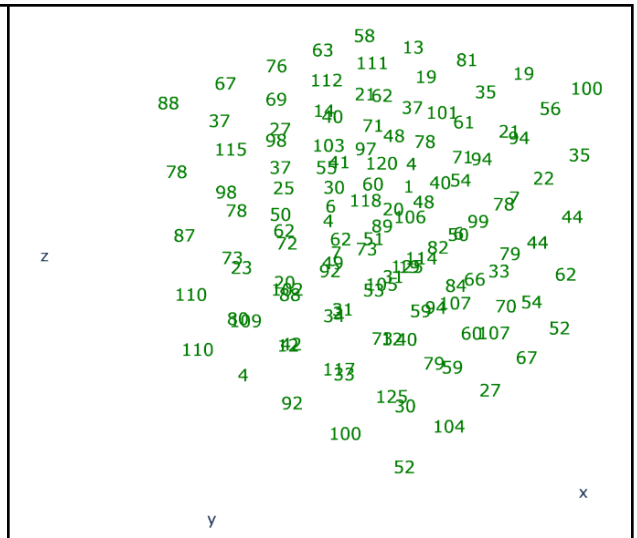


Nilai Objective Function Terendah dari Populasi Terakhir: 5270
Nilai Objective Function Rata-rata dari Populasi Terakhir: 6510.54
Nilai Objective Function Terbaik dari Seluruh Populasi: 5270
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 10
Durasi Proses Pencarian: 441 ms

Percobaan 3

State Awal Cube	State Akhir Cube





Sumbu X

```
----- Sisi ke- 1 ------

81 |52 |99 |14 |36 |
57 |111 |119 |91 |94 |
64 |27 |70 |69 |98 |
53 |49 |51 |59 |114 |
125 |108 |2 |101 |19 |

----- Sisi ke- 2 ------

9 |45 |74 |56 |92 |
48 |12 |33 |5 |90 |
32 |58 |102 |75 |41 |
62 |109 |77 |117 |61 |
85 |124 |55 |15 |78 |

----- Sisi ke- 3 ------

80 |112 |50 |93 |79 |
54 |63 |21 |37 |40 |
38 |104 |66 |7 |6 |
95 |25 |24 |89 |8 |
87 |73 |10 |96 |65 |

----- Sisi ke- 4 ------

88 |121 |123 |23 |60 |
105 |116 |76 |103 |113 |
22 |44 |106 |39 |11 |
120 |20 |35 |68 |46 |
17 |107 |18 |29 |110 |

----- Sisi ke- 5 ------

115 |47 |72 |97 |26 |
16 |82 |100 |43 |30 |
83 |122 |3 |4 |31 |
86 |71 |1 |67 |34 |
84 |42 |118 |28 |13 |
```

Sumbu Y

```
----- Sisi ke- 1 ------

81 |57 |64 |53 |125 |
9 |48 |32 |62 |85 |
80 |54 |38 |95 |87 |
88 |105 |22 |120 |17 |
115 |16 |83 |86 |84 |

----- Sisi ke- 2 ------

52 |111 |27 |49 |108 |
45 |12 |58 |109 |124 |
112 |63 |104 |25 |73 |
121 |116 |44 |20 |107 |
47 |82 |122 |71 |42 |

----- Sisi ke- 3 ------

99 |119 |70 |51 |2 |
74 |33 |102 |77 |55 |
50 |21 |66 |24 |10 |
123 |76 |106 |35 |18 |
72 |100 |3 |1 |118 |

----- Sisi ke- 4 ------

14 |91 |69 |59 |101 |
56 |5 |75 |117 |15 |
93 |37 |7 |89 |96 |
23 |103 |39 |68 |29 |
97 |43 |4 |67 |28 |

----- Sisi ke- 5 ------

36 |94 |98 |114 |19 |
92 |90 |41 |61 |78 |
79 |40 |6 |8 |65 |
60 |113 |11 |46 |110 |
26 |30 |31 |34 |13 |
```

Sumbu Z

```
----- Sisi ke- 1 ------

81 |9 |80 |88 |115 |
52 |45 |112 |121 |47 |
99 |74 |50 |123 |72 |
14 |56 |93 |23 |97 |
36 |92 |79 |60 |26 |

----- Sisi ke- 2 ------

57 |48 |54 |105 |16 |
111 |12 |63 |116 |82 |
119 |33 |21 |76 |100 |
91 |5 |37 |103 |43 |
94 |90 |40 |113 |30 |

----- Sisi ke- 3 ------

64 |32 |38 |22 |83 |
27 |58 |104 |44 |122 |
70 |102 |66 |106 |3 |
69 |75 |7 |39 |4 |
98 |41 |6 |11 |31 |

----- Sisi ke- 4 ------

53 |62 |95 |120 |86 |
49 |109 |25 |20 |71 |
51 |77 |24 |35 |1 |
59 |117 |89 |68 |67 |
114 |61 |8 |46 |34 |

----- Sisi ke- 5 ------

125 |85 |87 |17 |84 |
108 |124 |73 |107 |42 |
2 |55 |10 |18 |118 |
101 |15 |96 |29 |28 |
19 |78 |65 |110 |13 |
```

Nilai Objective Function Awal: 7355

Sumbu X

```
----- Sisi ke- 1 ------

73 |118 |97 |21 |58 |
19 |106 |4 |37 |13 |
84 |50 |54 |61 |81 |
70 |79 |7 |94 |19 |
52 |62 |44 |35 |100 |

----- Sisi ke- 2 ------

92 |4 |55 |14 |63 |
53 |51 |60 |71 |111 |
59 |114 |48 |78 |19 |
60 |66 |99 |94 |35 |
67 |54 |44 |22 |56 |

----- Sisi ke- 3 ------

88 |72 |25 |27 |76 |
34 |49 |6 |103 |112 |
73 |105 |89 |120 |62 |
79 |94 |82 |40 |101 |
27 |107 |33 |78 |21 |

----- Sisi ke- 4 ------

109 |23 |78 |115 |67 |
42 |102 |62 |37 |69 |
117 |3 |7 |30 |40 |
125 |12 |31 |20 |48 |
104 |59 |107 |6 |71 |

----- Sisi ke- 5 ------

110 |110 |87 |78 |88 |
4 |80 |73 |98 |37 |
92 |12 |20 |50 |98 |
100 |33 |31 |62 |41 |
52 |30 |40 |125 |1 |
```

Sumbu Y

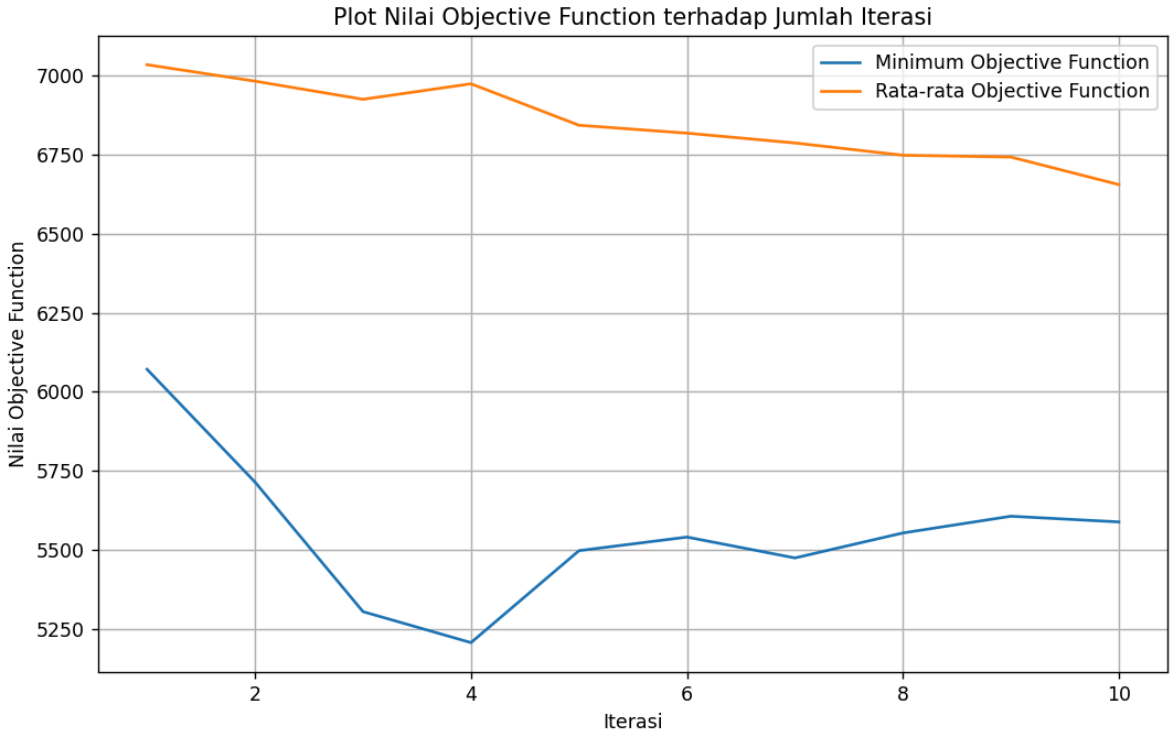
```
----- Sisi ke- 1 ------

73 |19 |84 |70 |52 |
92 |53 |59 |60 |67 |
88 |34 |73 |79 |27 |
109 |42 |117 |125 |104 |
110 |4 |92 |100 |52 |

----- Sisi ke- 2 ------

118 |106 |50 |79 |62 |
4 |51 |114 |66 |54 |
72 |49 |105 |94 |107 |
23 |102 |3 |12 |59 |
110 |80 |12 |33 |30 |

----- Sisi ke- 3 ------

97 |4 |54 |7 |44 |
55 |60 |48 |99 |44 |
25 |6 |89 |82 |33 |
78 |62 |7 |31 |107 |
87 |73 |20 |31 |40 |

----- Sisi ke- 4 ------

21 |37 |61 |94 |35 |
14 |71 |78 |94 |22 |
27 |103 |120 |40 |78 |
115 |37 |30 |20 |6 |
78 |98 |50 |62 |125 |

----- Sisi ke- 5 ------

58 |13 |81 |19 |100 |
63 |111 |19 |35 |56 |
76 |112 |62 |101 |21 |
67 |69 |40 |48 |71 |
88 |37 |98 |41 |1 |
```

Sumbu Z

```
----- Sisi ke- 1 ------

73 |92 |88 |109 |110 |
118 |4 |72 |23 |110 |
97 |55 |25 |78 |87 |
21 |14 |27 |115 |78 |
58 |63 |76 |67 |88 |

----- Sisi ke- 2 ------

19 |53 |34 |42 |4 |
106 |51 |49 |102 |80 |
4 |60 |6 |62 |73 |
37 |71 |103 |37 |98 |
13 |111 |112 |69 |37 |

----- Sisi ke- 3 ------

84 |59 |73 |117 |92 |
50 |114 |105 |3 |12 |
54 |48 |89 |7 |20 |
61 |78 |120 |30 |50 |
81 |19 |62 |40 |98 |

----- Sisi ke- 4 ------

70 |60 |79 |125 |100 |
79 |66 |94 |12 |33 |
7 |99 |82 |31 |31 |
94 |94 |40 |20 |62 |
19 |35 |101 |48 |41 |

----- Sisi ke- 5 ------

52 |67 |27 |104 |52 |
62 |54 |107 |59 |30 |
44 |44 |33 |107 |40 |
35 |22 |78 |6 |125 |
100 |56 |21 |71 |1 |
```

Nilai Objective Function Akhir: 5588 (Best: 5206)

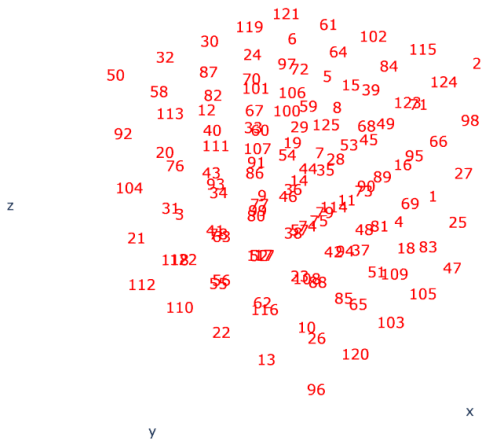
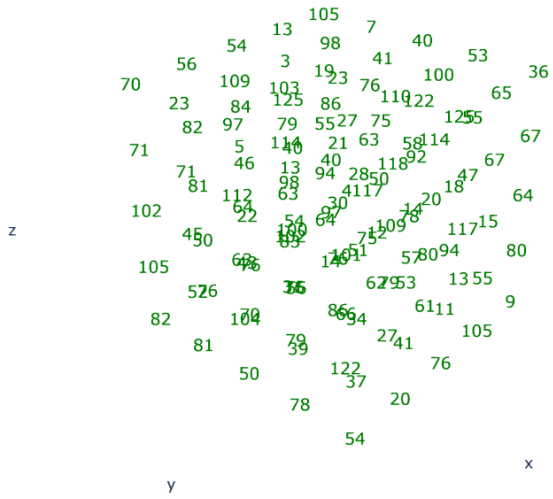
Plot Nilai Objective Function Minimum dan Rata-rata:



Nilai Objective Function Terendah dari Populasi Terakhir: 5588
Nilai Objective Function Rata-rata dari Populasi Terakhir: 6655.61
Nilai Objective Function Terbaik dari Seluruh Populasi: 5206
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 10
Durasi Proses Pencarian: 434 ms

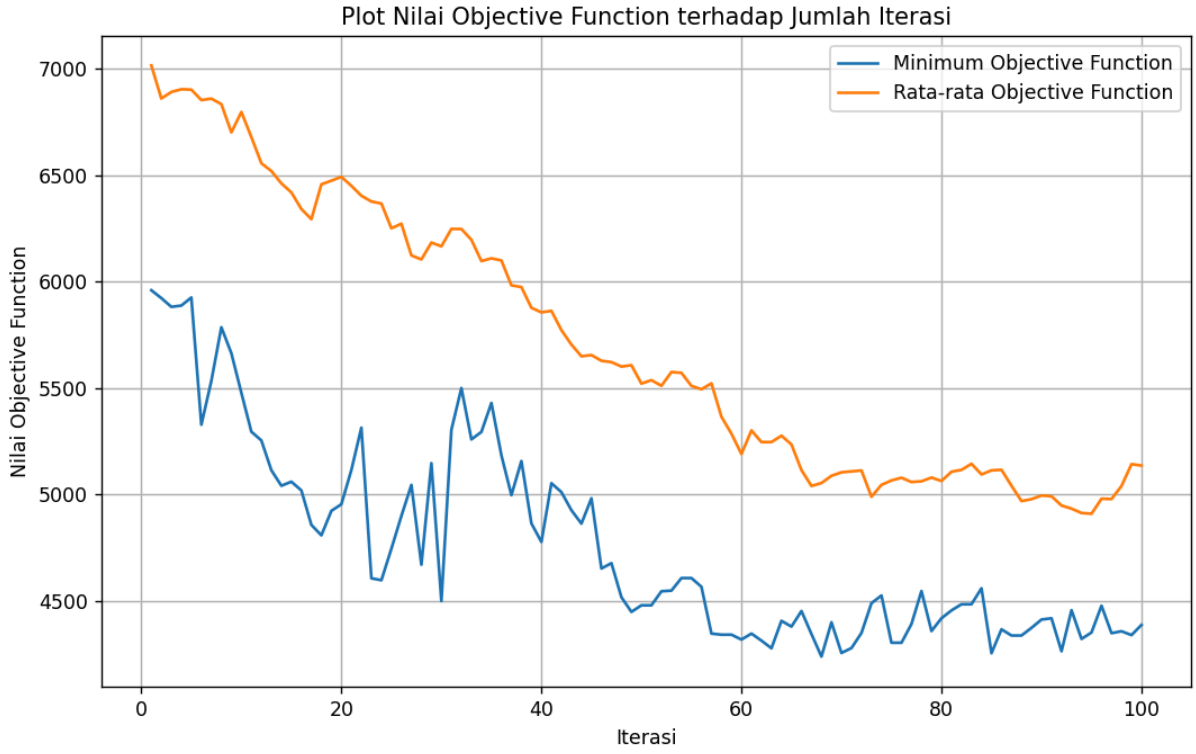
1.2 - Jumlah Maksimum Iterasi 100

Percobaan 1

State Awal Cube	State Akhir Cube
	

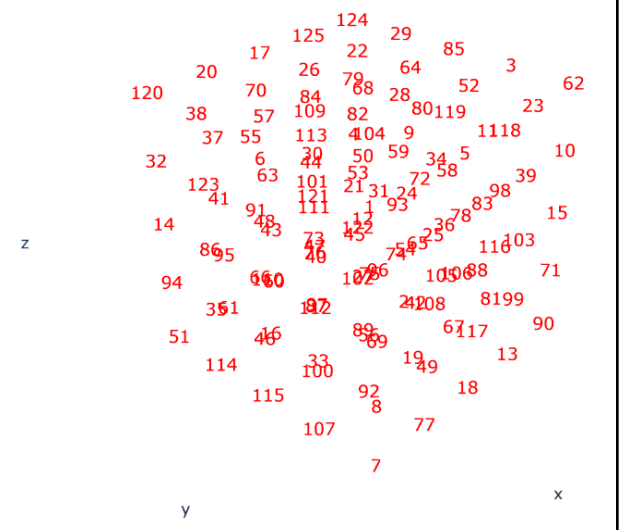
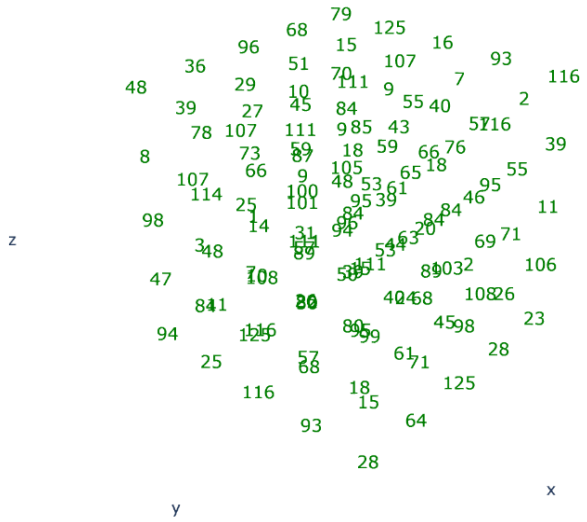
Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z
----- Sisi ke- 1 ------ 46 |54 |100 |97 |121 | 79 |35 |125 |5 |61 | 48 |90 |45 |39 |102 | 18 |69 |95 |71 |115 | 47 |25 |27 |98 |2 | ----- Sisi ke- 2 ------ 80 |86 |33 |70 |119 | 38 |36 |19 |106 |6 | 42 |114 |28 |8 |64 | 51 |81 |89 |49 |84 | 105 |83 |1 |66 |124 | ----- Sisi ke- 3 ------ 63 |34 |111 |82 |30 | 52 |99 |91 |67 |24 | 23 |57 |14 |29 |72 | 85 |94 |11 |53 |15 | 103 |109 |4 |16 |123 | ----- Sisi ke- 4 ------ 122 |3 |76 |113 |32 | 56 |78 |93 |40 |87 | 62 |117 |77 |107 |101 | 10 |108 |74 |44 |59 | 120 |65 |37 |73 |68 | ----- Sisi ke- 5 ------ 112 |21 |104 |92 |50 | 110 |118 |31 |20 |58 | 22 |55 |41 |43 |12 | 13 |116 |17 |9 |60 | 96 |26 |88 |75 |7 |	----- Sisi ke- 1 ------ 46 |79 |48 |18 |47 | 80 |38 |42 |51 |105 | 63 |52 |23 |85 |103 | 122 |56 |62 |10 |120 | 112 |110 |22 |13 |96 | ----- Sisi ke- 2 ------ 54 |35 |90 |69 |25 | 86 |36 |114 |81 |83 | 34 |99 |57 |94 |109 | 3 |78 |117 |108 |65 | 21 |118 |55 |116 |26 | ----- Sisi ke- 3 ------ 100 |125 |45 |95 |27 | 33 |19 |28 |89 |1 | 111 |91 |14 |11 |4 | 76 |93 |77 |74 |37 | 104 |31 |41 |17 |88 | ----- Sisi ke- 4 ------ 97 |5 |39 |71 |98 | 70 |106 |8 |49 |66 | 82 |67 |29 |53 |16 | 113 |40 |107 |44 |73 | 92 |20 |43 |9 |75 | ----- Sisi ke- 5 ------ 121 |61 |102 |115 |2 | 119 |6 |64 |84 |124 | 30 |24 |72 |15 |123 | 32 |87 |101 |59 |68 | 50 |58 |12 |60 |7 |	----- Sisi ke- 1 ------ 46 |80 |63 |122 |112 | 54 |86 |34 |3 |21 | 100 |33 |111 |76 |104 | 97 |70 |82 |113 |92 | 121 |119 |30 |32 |50 | ----- Sisi ke- 2 ------ 79 |38 |52 |56 |110 | 35 |36 |99 |78 |118 | 125 |19 |91 |93 |31 | 5 |106 |67 |40 |20 | 61 |6 |24 |87 |58 | ----- Sisi ke- 3 ------ 48 |42 |23 |62 |22 | 90 |114 |57 |117 |55 | 45 |28 |14 |77 |41 | 39 |8 |29 |107 |43 | 102 |64 |72 |101 |12 | ----- Sisi ke- 4 ------ 18 |51 |85 |10 |13 | 69 |81 |94 |108 |116 | 95 |89 |11 |74 |17 | 71 |49 |53 |44 |9 | 115 |84 |15 |59 |60 | ----- Sisi ke- 5 ------ 47 |105 |103 |120 |96 | 25 |83 |109 |65 |26 | 27 |1 |4 |37 |88 | 98 |66 |16 |73 |75 | 2 |124 |123 |68 |7 |	----- Sisi ke- 1 ------ 64 |94 |55 |19 |105 | 75 |117 |63 |76 |7 | 57 |14 |92 |122 |40 | 13 |117 |47 |55 |53 | 9 |80 |64 |67 |36 | ----- Sisi ke- 2 ------ 83 |63 |114 |103 |13 | 14 |97 |40 |86 |98 | 62 |12 |50 |75 |41 | 61 |80 |20 |114 |100 | 105 |55 |15 |67 |65 | ----- Sisi ke- 3 ------ 76 |22 |46 |84 |54 | 31 |102 |98 |79 |3 | 86 |76 |30 |21 |23 | 27 |79 |109 |118 |110 | 76 |11 |94 |18 |125 | ----- Sisi ke- 4 ------ 76 |50 |81 |82 |56 | 70 |43 |64 |5 |109 | 79 |76 |100 |13 |125 | 122 |66 |101 |4 |27 | 20 |41 |53 |78 |58 | ----- Sisi ke- 5 ------ 82 |105 |102 |71 |70 | 81 |52 |45 |71 |23 | 50 |104 |63 |112 |97 | 78 |39 |56 |54 |40 | 54 |37 |34 |51 |28 |	----- Sisi ke- 1 ------ 64 |75 |57 |13 |9 | 83 |14 |62 |61 |105 | 76 |31 |86 |27 |76 | 76 |70 |79 |122 |20 | 82 |81 |50 |78 |54 | ----- Sisi ke- 2 ------ 94 |117 |14 |117 |80 | 63 |97 |12 |80 |55 | 22 |102 |76 |79 |11 | 50 |43 |76 |66 |41 | 105 |52 |104 |39 |37 | ----- Sisi ke- 3 ------ 55 |63 |92 |47 |64 | 114 |40 |50 |20 |15 | 46 |98 |30 |109 |94 | 81 |64 |100 |101 |53 | 102 |45 |63 |56 |34 | ----- Sisi ke- 4 ------ 19 |76 |122 |55 |67 | 103 |86 |75 |114 |67 | 84 |79 |21 |118 |18 | 82 |5 |13 |4 |78 | 71 |71 |112 |54 |51 | ----- Sisi ke- 5 ------ 105 |7 |40 |53 |36 | 13 |98 |41 |100 |65 | 54 |3 |23 |110 |125 | 56 |109 |125 |27 |58 | 70 |23 |97 |40 |28 |	----- Sisi ke- 1 ------ 64 |83 |76 |76 |82 | 94 |63 |22 |50 |105 | 55 |114 |46 |81 |102 | 19 |103 |84 |82 |71 | 105 |13 |54 |56 |70 | ----- Sisi ke- 2 ------ 75 |14 |31 |70 |81 | 117 |97 |102 |43 |52 | 63 |40 |98 |64 |45 | 76 |86 |79 |5 |71 | 7 |98 |3 |109 |23 | ----- Sisi ke- 3 ------ 57 |62 |86 |79 |50 | 14 |12 |76 |76 |104 | 92 |50 |30 |100 |63 | 122 |75 |21 |13 |112 | 40 |41 |23 |125 |97 | ----- Sisi ke- 4 ------ 13 |61 |27 |122 |78 | 117 |80 |79 |66 |39 | 47 |20 |109 |101 |56 | 55 |114 |118 |4 |54 | 53 |100 |110 |27 |40 | ----- Sisi ke- 5 ------ 9 |105 |76 |20 |54 | 80 |55 |11 |41 |37 | 64 |15 |94 |53 |34 | 67 |67 |18 |78 |51 | 36 |65 |125 |58 |28 |
Nilai Objective Function Awal: 6985			Nilai Objective Function Akhir: 4386 (Best: 4237)		

Plot Nilai Objective Function Minimum dan Rata-rata:



Nilai Objective Function Terendah dari Populasi Terakhir: 4386
Nilai Objective Function Rata-rata dari Populasi Terakhir: 5134.76
Nilai Objective Function Terbaik dari Seluruh Populasi: 4237
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 100
Durasi Proses Pencarian: 4344 ms

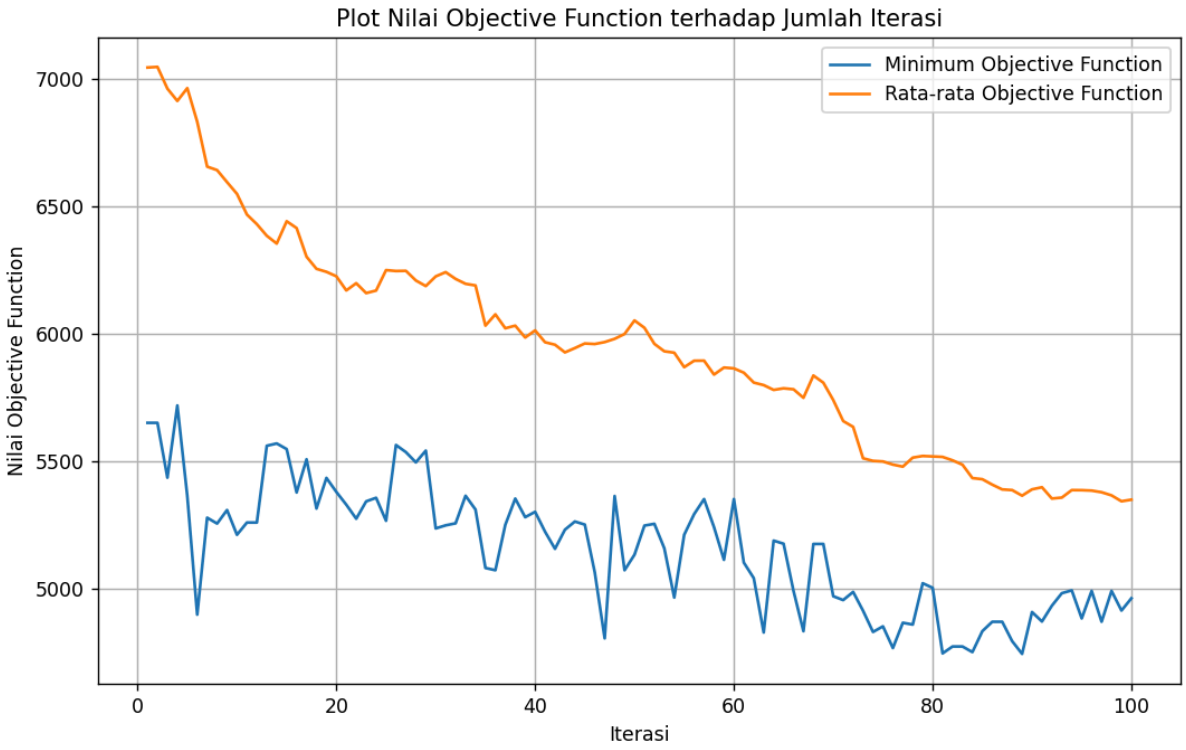
Percobaan 2

State Awal Cube	State Akhir Cube
	

Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z
----- Sisi ke- 1 ------ 45 |21 |4 |79 |124 | 74 |93 |59 |28 |29 | 105 |36 |58 |119 |85 | 81 |116 |98 |118 |3 | 90 |71 |15 |10 |62 | ----- Sisi ke- 2 ------ 40 |111 |30 |84 |125 | 102 |122 |53 |82 |22 | 2 |54 |24 |9 |64 | 67 |106 |78 |5 |52 | 13 |99 |103 |39 |23 | ----- Sisi ke- 3 ------ 60 |43 |63 |57 |17 | 97 |76 |121 |113 |26 | 89 |27 |12 |50 |68 | 19 |42 |65 |72 |80 | 18 |117 |88 |83 |11 | ----- Sisi ke- 4 ------ 61 |95 |41 |37 |20 | 16 |110 |48 |6 |70 | 33 |87 |47 |101 |109 | 92 |56 |75 |1 |104 | 77 |49 |108 |25 |34 | ----- Sisi ke- 5 ------ 51 |94 |14 |32 |120 | 114 |35 |86 |123 |38 | 115 |46 |66 |91 |55 | 107 |100 |112 |73 |44 | 7 |8 |69 |96 |31 |	----- Sisi ke- 1 ------ 45 |74 |105 |81 |90 | 40 |102 |2 |67 |13 | 60 |97 |89 |19 |18 | 61 |16 |33 |92 |77 | 51 |114 |115 |107 |7 | ----- Sisi ke- 2 ------ 21 |93 |36 |116 |71 | 111 |122 |54 |106 |99 | 43 |76 |27 |42 |117 | 95 |110 |87 |56 |49 | 94 |35 |46 |100 |8 | ----- Sisi ke- 3 ------ 4 |59 |58 |98 |15 | 30 |53 |24 |78 |103 | 63 |121 |12 |65 |88 | 41 |48 |47 |75 |108 | 14 |86 |66 |112 |69 | ----- Sisi ke- 4 ------ 79 |28 |119 |118 |10 | 84 |82 |9 |5 |39 | 57 |113 |50 |72 |83 | 37 |6 |101 |1 |25 | 32 |123 |91 |73 |96 | ----- Sisi ke- 5 ------ 124 |29 |85 |3 |62 | 125 |22 |64 |52 |23 | 17 |26 |68 |80 |11 | 20 |70 |109 |104 |34 | 120 |38 |55 |44 |31 |	----- Sisi ke- 1 ------ 45 |40 |60 |61 |51 | 21 |111 |43 |95 |94 | 4 |30 |63 |41 |14 | 79 |84 |57 |37 |32 | 124 |125 |17 |20 |120 | ----- Sisi ke- 2 ------ 74 |102 |97 |16 |114 | 93 |122 |76 |110 |35 | 59 |53 |121 |48 |86 | 28 |82 |113 |6 |123 | 29 |22 |26 |70 |38 | ----- Sisi ke- 3 ------ 105 |2 |89 |33 |115 | 36 |54 |27 |87 |46 | 58 |24 |12 |47 |66 | 119 |9 |50 |101 |91 | 85 |64 |68 |109 |55 | ----- Sisi ke- 4 ------ 81 |67 |19 |92 |107 | 116 |106 |42 |56 |100 | 98 |78 |65 |75 |112 | 118 |5 |72 |1 |73 | 3 |52 |80 |104 |44 | ----- Sisi ke- 5 ------ 90 |13 |18 |77 |7 | 71 |99 |117 |49 |8 | 15 |103 |88 |108 |69 | 10 |39 |83 |25 |96 | 62 |23 |11 |34 |31 |	----- Sisi ke- 1 ------ 94 |48 |9 |70 |79 | 53 |39 |59 |9 |125 | 89 |84 |18 |40 |16 | 108 |69 |95 |116 |93 | 23 |106 |11 |39 |116 | ----- Sisi ke- 2 ------ 89 |101 |59 |10 |68 | 50 |96 |105 |84 |15 | 40 |44 |61 |43 |107 | 45 |103 |84 |76 |7 | 28 |26 |71 |55 |2 | ----- Sisi ke- 3 ------ 108 |14 |66 |27 |96 | 26 |57 |100 |111 |51 | 80 |39 |84 |18 |111 | 61 |24 |63 |65 |55 | 125 |98 |2 |46 |57 | ----- Sisi ke- 4 ------ 11 |48 |114 |78 |36 | 116 |10 |1 |73 |29 | 57 |82 |111 |9 |45 | 18 |95 |15 |95 |85 | 64 |71 |68 |20 |66 | ----- Sisi ke- 5 ------ 94 |47 |98 |8 |48 | 25 |84 |3 |107 |39 | 116 |125 |7 |25 |107 | 93 |68 |30 |31 |87 | 28 |15 |99 |111 |53 |	----- Sisi ke- 1 ------ 94 |53 |89 |108 |23 | 89 |50 |40 |45 |28 | 108 |26 |80 |61 |125 | 11 |116 |57 |18 |64 | 94 |25 |116 |93 |28 | ----- Sisi ke- 2 ------ 48 |39 |84 |69 |106 | 101 |96 |44 |103 |26 | 14 |57 |39 |24 |98 | 48 |10 |82 |95 |71 | 47 |84 |125 |68 |15 | ----- Sisi ke- 3 ------ 9 |59 |18 |95 |11 | 59 |105 |61 |84 |71 | 66 |100 |84 |63 |2 | 114 |1 |111 |15 |68 | 98 |3 |7 |30 |99 | ----- Sisi ke- 4 ------ 70 |9 |40 |116 |39 | 10 |84 |43 |76 |55 | 27 |111 |18 |65 |46 | 78 |73 |9 |95 |20 | 8 |107 |25 |31 |111 | ----- Sisi ke- 5 ------ 79 |125 |16 |93 |116 | 68 |15 |107 |7 |2 | 96 |51 |111 |55 |57 | 36 |29 |45 |85 |66 | 48 |39 |107 |87 |53 |	----- Sisi ke- 1 ------ 94 |89 |108 |11 |94 | 48 |101 |14 |48 |47 | 9 |59 |66 |114 |98 | 70 |10 |27 |78 |8 | 79 |68 |96 |36 |48 | ----- Sisi ke- 2 ------ 53 |50 |26 |116 |25 | 39 |96 |57 |10 |84 | 59 |105 |100 |1 |3 | 9 |84 |111 |73 |107 | 125 |15 |51 |29 |39 | ----- Sisi ke- 3 ------ 89 |40 |80 |57 |116 | 84 |44 |39 |82 |125 | 18 |61 |84 |111 |7 | 40 |43 |18 |9 |25 | 16 |107 |111 |45 |107 | ----- Sisi ke- 4 ------ 108 |45 |61 |18 |93 | 69 |103 |24 |95 |68 | 95 |84 |63 |15 |30 | 116 |76 |65 |95 |31 | 93 |7 |55 |85 |87 | ----- Sisi ke- 5 ------ 23 |28 |125 |64 |28 | 106 |26 |98 |71 |15 | 11 |71 |2 |68 |99 | 39 |55 |46 |20 |111 | 116 |2 |57 |66 |53 |

Nilai Objective Function Awal: 7308	Nilai Objective Function Akhir: 4962 (Best: 4744)

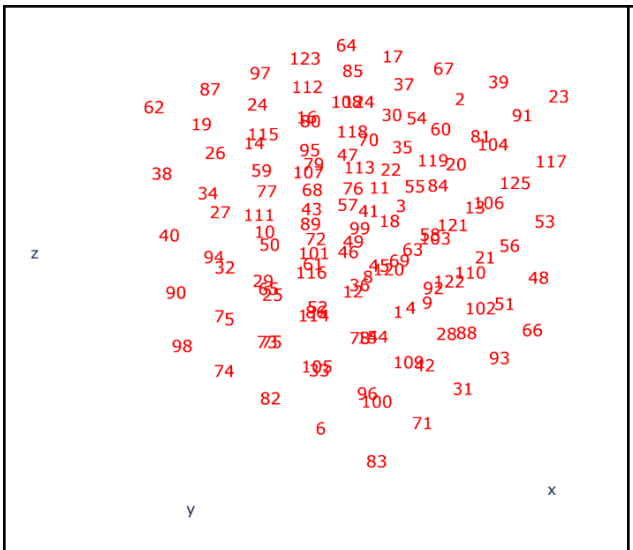
Plot Nilai Objective Function Minimum dan Rata-rata:

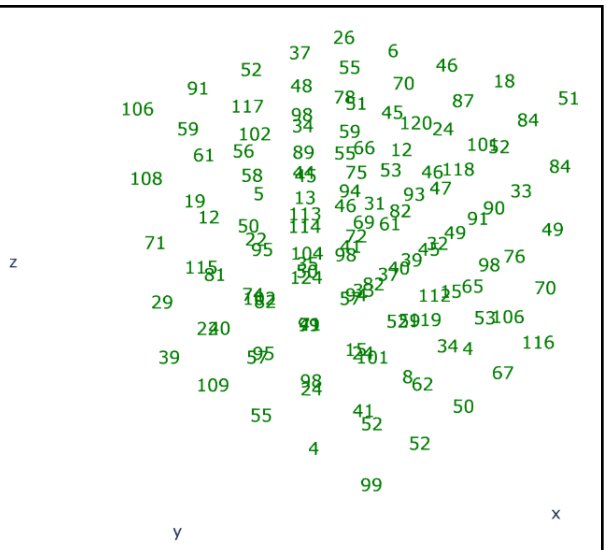


Nilai Objective Function Terendah dari Populasi Terakhir: 4962
Nilai Objective Function Rata-rata dari Populasi Terakhir: 5348.69
Nilai Objective Function Terbaik dari Seluruh Populasi: 4744
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 100
Durasi Proses Pencarian: 4545 ms

Percobaan 3

State Awal Cube	State Akhir Cube





Sumbu X

```
----- Sisi ke- 1 ------

46 |57 |47 |108 |64 |
120 |18 |22 |30 |17 |
92 |103 |84 |60 |67 |
102 |21 |106 |104 |39 |
66 |48 |53 |117 |23 |

----- Sisi ke- 2 ------

116 |89 |107 |16 |123 |
12 |49 |76 |118 |85 |
1 |69 |3 |35 |37 |
28 |122 |121 |20 |2 |
93 |51 |56 |125 |91 |

----- Sisi ke- 3 ------

25 |50 |77 |115 |97 |
114 |61 |43 |95 |112 |
78 |36 |99 |113 |124 |
109 |4 |63 |55 |54 |
31 |88 |110 |13 |81 |

----- Sisi ke- 4 ------

5 |32 |27 |26 |87 |
75 |65 |10 |59 |24 |
105 |86 |101 |68 |80 |
96 |15 |8 |41 |70 |
71 |42 |9 |58 |119 |

----- Sisi ke- 5 ------

98 |90 |40 |38 |62 |
74 |7 |94 |34 |19 |
82 |73 |29 |111 |14 |
6 |33 |52 |72 |79 |
83 |100 |44 |45 |11 |
```

Sumbu Y

```
----- Sisi ke- 1 ------

46 |120 |92 |102 |66 |
116 |12 |1 |28 |93 |
25 |114 |78 |109 |31 |
5 |75 |105 |96 |71 |
98 |74 |82 |6 |83 |

----- Sisi ke- 2 ------

57 |18 |103 |21 |48 |
89 |49 |69 |122 |51 |
50 |61 |36 |4 |88 |
32 |65 |86 |15 |42 |
90 |7 |73 |33 |100 |

----- Sisi ke- 3 ------

47 |22 |84 |106 |53 |
107 |76 |3 |121 |56 |
77 |43 |99 |63 |110 |
27 |10 |101 |8 |9 |
40 |94 |29 |52 |44 |

----- Sisi ke- 4 ------

108 |30 |60 |104 |117 |
16 |118 |35 |20 |125 |
115 |95 |113 |55 |13 |
26 |59 |68 |41 |58 |
38 |34 |111 |72 |45 |

----- Sisi ke- 5 ------

64 |17 |67 |39 |23 |
123 |85 |37 |2 |91 |
97 |112 |124 |54 |81 |
87 |24 |80 |70 |119 |
62 |19 |14 |79 |11 |
```

Sumbu Z

```
----- Sisi ke- 1 ------

46 |116 |25 |5 |98 |
57 |89 |50 |32 |90 |
47 |107 |77 |27 |40 |
108 |16 |115 |26 |38 |
64 |123 |97 |87 |62 |

----- Sisi ke- 2 ------

120 |12 |114 |75 |74 |
18 |49 |61 |65 |7 |
22 |76 |43 |10 |94 |
30 |118 |95 |59 |34 |
17 |85 |112 |24 |19 |

----- Sisi ke- 3 ------

92 |1 |78 |105 |82 |
103 |69 |36 |86 |73 |
84 |3 |99 |101 |29 |
60 |35 |113 |68 |111 |
67 |37 |124 |80 |14 |

----- Sisi ke- 4 ------

102 |28 |109 |96 |6 |
21 |122 |4 |15 |33 |
106 |121 |63 |8 |52 |
104 |20 |55 |41 |72 |
39 |2 |54 |70 |79 |

----- Sisi ke- 5 ------

66 |93 |31 |71 |83 |
48 |51 |88 |42 |100 |
53 |56 |110 |9 |44 |
117 |125 |13 |58 |45 |
23 |91 |81 |119 |11 |
```

Sumbu X

```
----- Sisi ke- 1 ------

98 |46 |55 |78 |26 |
37 |61 |53 |45 |6 |
112 |32 |47 |24 |46 |
53 |98 |90 |52 |18 |
116 |70 |49 |84 |51 |

----- Sisi ke- 2 ------

124 |114 |44 |98 |37 |
57 |41 |94 |59 |55 |
52 |40 |82 |12 |70 |
34 |15 |49 |118 |87 |
67 |106 |76 |33 |84 |

----- Sisi ke- 3 ------

82 |95 |5 |102 |52 |
99 |50 |113 |89 |48 |
15 |94 |72 |75 |51 |
8 |59 |39 |93 |120 |
50 |4 |65 |91 |101 |

----- Sisi ke- 4 ------

40 |81 |12 |61 |91 |
95 |102 |22 |58 |117 |
98 |41 |35 |13 |34 |
41 |24 |33 |69 |66 |
52 |62 |119 |45 |46 |

----- Sisi ke- 5 ------

39 |29 |71 |108 |106 |
109 |22 |115 |19 |59 |
55 |57 |74 |50 |56 |
4 |24 |71 |104 |45 |
99 |52 |101 |82 |31 |
```

Sumbu Y

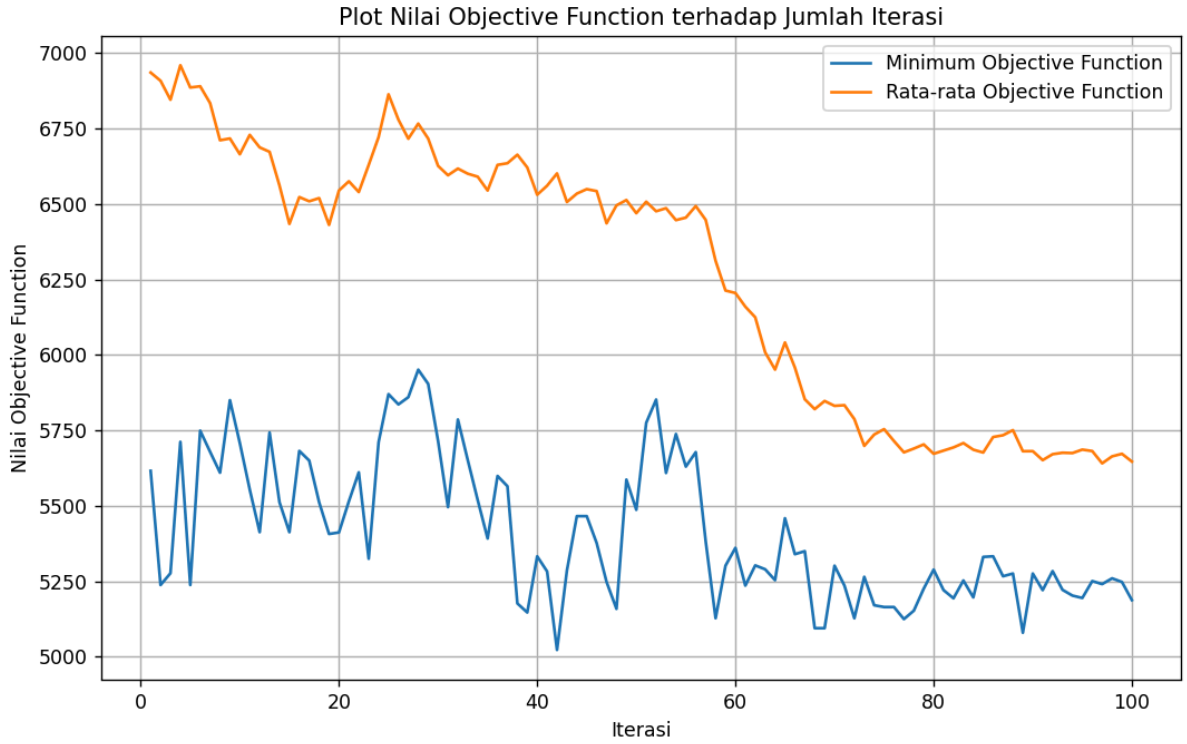
```
----- Sisi ke- 1 ------

98 |37 |112 |53 |116 |
124 |57 |52 |34 |67 |
82 |99 |15 |8 |50 |
40 |95 |98 |41 |52 |
39 |109 |55 |4 |99 |

----- Sisi ke- 2 ------

46 |61 |32 |98 |70 |
114 |41 |40 |15 |106 |
95 |50 |94 |59 |4 |
81 |102 |41 |24 |62 |
29 |22 |57 |24 |52 |

----- Sisi ke- 3 ------

55 |53 |47 |90 |49 |
44 |94 |82 |49 |76 |
5 |113 |72 |39 |65 |
12 |22 |35 |33 |119 |
71 |115 |74 |71 |101 |

----- Sisi ke- 4 ------

78 |45 |24 |52 |84 |
98 |59 |12 |118 |33 |
102 |89 |75 |93 |91 |
61 |58 |13 |69 |45 |
108 |19 |50 |104 |82 |

----- Sisi ke- 5 ------

26 |6 |46 |18 |51 |
37 |55 |70 |87 |84 |
52 |48 |51 |120 |101 |
91 |117 |34 |66 |46 |
106 |59 |56 |45 |31 |
```

Sumbu Z

```
----- Sisi ke- 1 ------

98 |124 |82 |40 |39 |
46 |114 |95 |81 |29 |
55 |44 |5 |12 |71 |
78 |98 |102 |61 |108 |
26 |37 |52 |91 |106 |

----- Sisi ke- 2 ------

37 |57 |99 |95 |109 |
61 |41 |50 |102 |22 |
53 |94 |113 |22 |115 |
45 |59 |89 |58 |19 |
6 |55 |48 |117 |59 |

----- Sisi ke- 3 ------

112 |52 |15 |98 |55 |
32 |40 |94 |41 |57 |
47 |82 |72 |35 |74 |
24 |12 |75 |13 |50 |
46 |70 |51 |34 |56 |

----- Sisi ke- 4 ------

53 |34 |8 |41 |4 |
98 |15 |59 |24 |24 |
90 |49 |39 |33 |71 |
52 |118 |93 |69 |104 |
18 |87 |120 |66 |45 |

----- Sisi ke- 5 ------

116 |67 |50 |52 |99 |
70 |106 |4 |62 |52 |
49 |76 |65 |119 |101 |
84 |33 |91 |45 |82 |
51 |84 |101 |46 |31 |
```

Nilai Objective Function Awal: 6155	Nilai Objective Function Akhir: 5188 (Best: 5023)

Plot Nilai Objective Function Minimum dan Rata-rata:

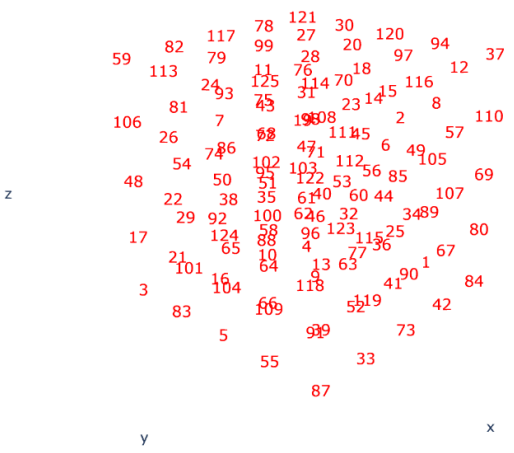


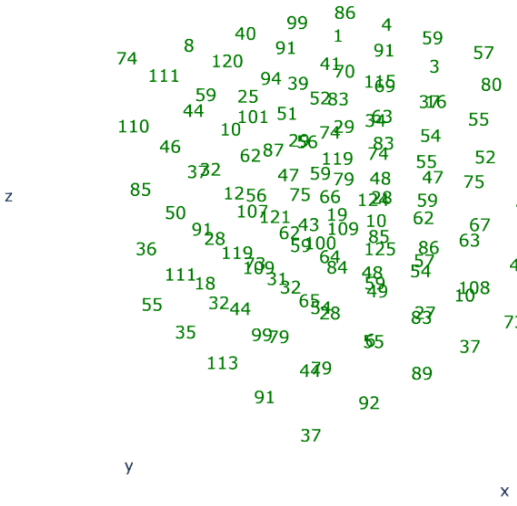
Nilai Objective Function Terendah dari Populasi Terakhir: 5188
Nilai Objective Function Rata-rata dari Populasi Terakhir: 5646.74
Nilai Objective Function Terbaik dari Seluruh Populasi: 5023
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 100
Durasi Proses Pencarian: 4724 ms

1.3 - Jumlah Maksimum Iterasi 1000

Percobaan 1

State Awal Cube	State Akhir Cube





Sumbu X

Sisi ke sumbu x

----- Sisi ke- 1 ------

62 |103 |19 |76 |121 |
123 |53 |111 |70 |30 |
36 |44 |6 |15 |120 |
1 |89 |105 |8 |94 |
84 |80 |69 |110 |37 |

----- Sisi ke- 2 ------

58 |51 |68 |125 |78 |
4 |61 |47 |31 |27 |
63 |32 |112 |23 |20 |
41 |25 |85 |2 |97 |
42 |67 |107 |57 |12 |

----- Sisi ke- 3 ------

65 |38 |86 |93 |117 |
64 |100 |102 |43 |99 |
118 |96 |122 |98 |28 |
52 |77 |60 |45 |18 |
73 |90 |34 |49 |116 |

----- Sisi ke- 4 ------

101 |29 |54 |81 |82 |
104 |124 |50 |7 |79 |
109 |10 |35 |72 |11 |
91 |9 |46 |71 |114 |
33 |119 |115 |56 |14 |

----- Sisi ke- 5 ------

3 |17 |48 |106 |59 |
83 |21 |22 |26 |113 |
5 |16 |92 |74 |24 |
55 |66 |88 |95 |75 |
87 |39 |13 |40 |108 |

Sumbu Y

Sisi ke sumbu y

----- Sisi ke- 1 ------

62 |123 |36 |1 |84 |
58 |4 |63 |41 |42 |
65 |64 |118 |52 |73 |
101 |104 |109 |91 |33 |
3 |83 |5 |55 |87 |

----- Sisi ke- 2 ------

103 |53 |44 |89 |80 |
51 |61 |32 |25 |67 |
38 |100 |96 |77 |90 |
29 |124 |10 |9 |119 |
17 |21 |16 |66 |39 |

----- Sisi ke- 3 ------

19 |111 |6 |105 |69 |
68 |47 |112 |85 |107 |
86 |102 |122 |60 |34 |
54 |50 |35 |46 |115 |
48 |22 |92 |88 |13 |

----- Sisi ke- 4 ------

76 |70 |15 |8 |110 |
125 |31 |23 |2 |57 |
93 |43 |98 |45 |49 |
81 |7 |72 |71 |56 |
106 |26 |74 |95 |40 |

----- Sisi ke- 5 ------

121 |30 |120 |94 |37 |
78 |27 |20 |97 |12 |
117 |99 |28 |18 |116 |
82 |79 |11 |114 |14 |
59 |113 |24 |75 |108 |

Sumbu Z

Sisi ke sumbu z

----- Sisi ke- 1 ------

62 |58 |65 |101 |3 |
103 |51 |38 |29 |17 |
19 |68 |86 |54 |48 |
76 |125 |93 |81 |106 |
121 |78 |117 |82 |59 |

----- Sisi ke- 2 ------

123 |4 |64 |104 |83 |
53 |61 |100 |124 |21 |
111 |47 |102 |50 |22 |
70 |31 |43 |7 |26 |
30 |27 |99 |79 |113 |

----- Sisi ke- 3 ------

36 |63 |118 |109 |5 |
44 |32 |96 |10 |16 |
6 |112 |122 |35 |92 |
15 |23 |98 |72 |74 |
120 |20 |28 |11 |24 |

----- Sisi ke- 4 ------

1 |41 |52 |91 |55 |
89 |25 |77 |9 |66 |
105 |85 |60 |46 |88 |
8 |2 |45 |71 |95 |
94 |97 |18 |114 |75 |

----- Sisi ke- 5 ------

84 |42 |73 |33 |87 |
80 |67 |90 |119 |39 |
69 |107 |34 |115 |13 |
110 |57 |49 |56 |40 |
37 |12 |116 |14 |108 |

Sumbu X

Sisi ke sumbu x

----- Sisi ke- 1 ------

109 |79 |29 |70 |86 |
125 |28 |83 |69 |4 |
54 |62 |55 |37 |59 |
10 |63 |75 |55 |57 |
73 |47 |47 |72 |59 |

----- Sisi ke- 2 ------

59 |75 |29 |39 |99 |
84 |19 |119 |83 |1 |
49 |85 |48 |63 |91 |
83 |57 |59 |54 |3 |
37 |108 |67 |52 |80 |

----- Sisi ke- 3 ------

73 |107 |62 |25 |40 |
32 |62 |47 |51 |91 |
28 |64 |66 |74 |41 |
55 |59 |10 |74 |115 |
89 |27 |86 |47 |16 |

----- Sisi ke- 4 ------

18 |91 |37 |44 |8 |
44 |119 |12 |10 |120 |
79 |31 |121 |87 |94 |
79 |54 |100 |59 |52 |
92 |6 |48 |124 |34 |

----- Sisi ke- 5 ------

55 |36 |85 |110 |74 |
35 |111 |50 |46 |111 |
113 |32 |28 |32 |59 |
91 |99 |109 |56 |101 |
37 |44 |65 |43 |56 |

Sumbu Y

Sisi ke sumbu y

----- Sisi ke- 1 ------

109 |125 |54 |10 |73 |
59 |84 |49 |83 |37 |
73 |32 |28 |55 |89 |
18 |44 |79 |79 |92 |
55 |35 |113 |91 |37 |

----- Sisi ke- 2 ------

79 |28 |62 |63 |47 |
75 |19 |85 |57 |108 |
107 |62 |64 |59 |27 |
91 |119 |31 |54 |6 |
36 |111 |32 |99 |44 |

----- Sisi ke- 3 ------

29 |83 |55 |75 |47 |
29 |119 |48 |59 |67 |
62 |47 |66 |10 |86 |
37 |12 |121 |100 |48 |
85 |50 |28 |109 |65 |

----- Sisi ke- 4 ------

70 |69 |37 |55 |72 |
39 |83 |63 |54 |52 |
25 |51 |74 |74 |47 |
44 |10 |87 |59 |124 |
110 |46 |32 |56 |43 |

----- Sisi ke- 5 ------

86 |4 |59 |57 |59 |
99 |1 |91 |3 |80 |
40 |91 |41 |115 |16 |
8 |120 |94 |52 |34 |
74 |111 |59 |101 |56 |

Sumbu Z

Sisi ke sumbu z

----- Sisi ke- 1 ------

109 |59 |73 |18 |55 |
79 |75 |107 |91 |36 |
29 |29 |62 |37 |85 |
70 |39 |25 |44 |110 |
86 |99 |40 |8 |74 |

----- Sisi ke- 2 ------

125 |84 |32 |44 |35 |
28 |19 |62 |119 |111 |
83 |119 |47 |12 |50 |
69 |83 |51 |10 |46 |
4 |1 |91 |120 |111 |

----- Sisi ke- 3 ------

54 |49 |28 |79 |113 |
62 |85 |64 |31 |32 |
55 |48 |66 |121 |28 |
37 |63 |74 |87 |32 |
59 |91 |41 |94 |59 |

----- Sisi ke- 4 ------

10 |83 |55 |79 |91 |
63 |57 |59 |54 |99 |
75 |59 |10 |100 |109 |
55 |54 |74 |59 |56 |
57 |3 |115 |52 |101 |

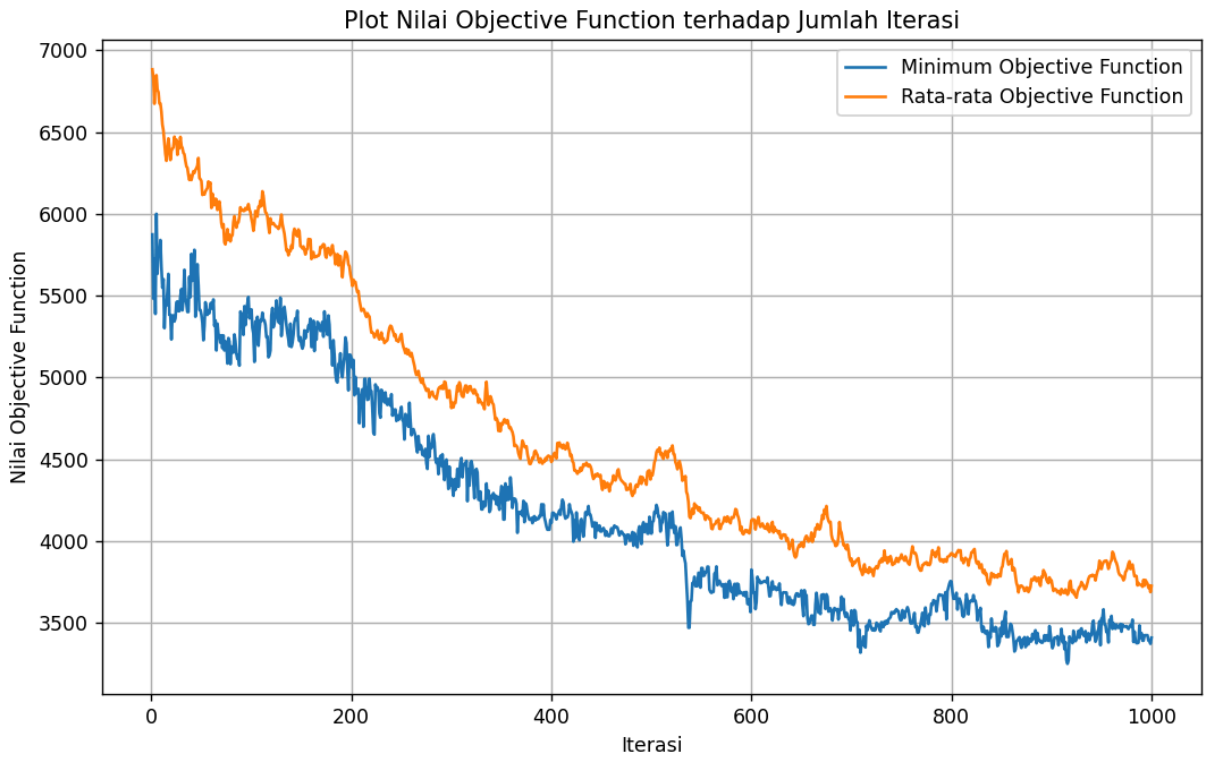
----- Sisi ke- 5 ------

73 |37 |89 |92 |37 |
47 |108 |27 |6 |44 |
47 |67 |86 |48 |65 |
72 |52 |47 |124 |43 |
59 |80 |16 |34 |56 |

Nilai Objective Function Awal: 6582

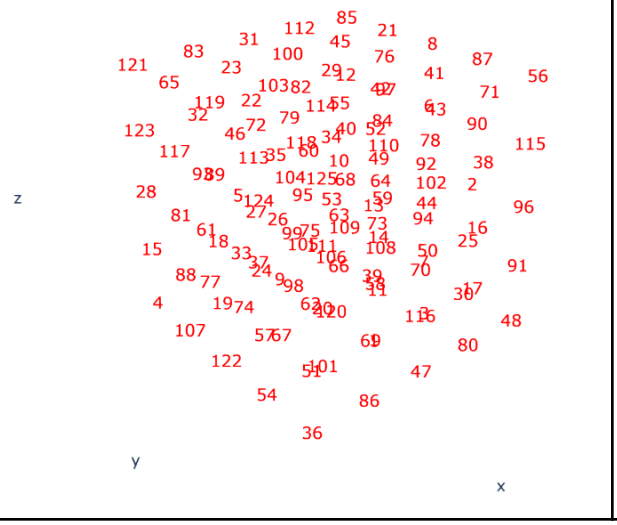
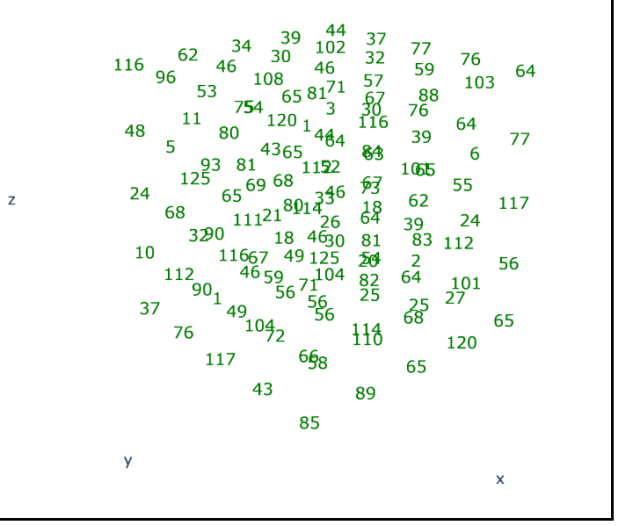
Nilai Objective Function Akhir: 3411
(Best: 3252)

Plot Nilai Objective Function Minimum dan Rata-rata:



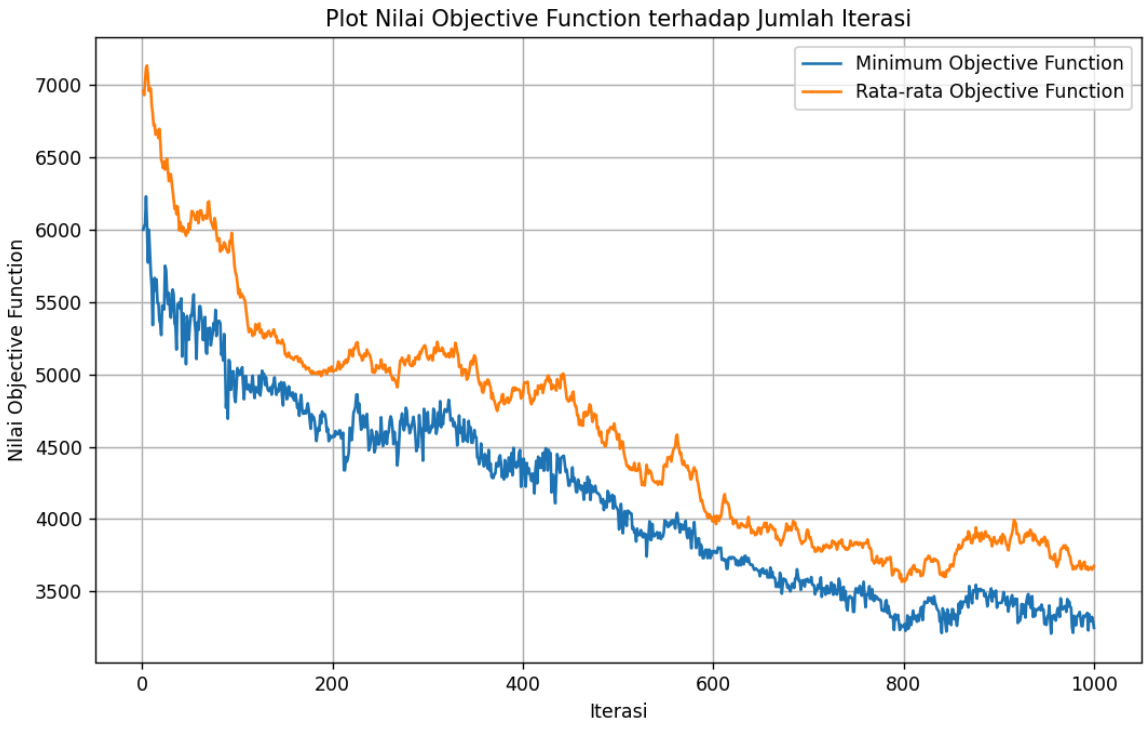
Nilai Objective Function Terendah dari Populasi Terakhir: 3411
Nilai Objective Function Rata-rata dari Populasi Terakhir: 3727.21
Nilai Objective Function Terbaik dari Seluruh Populasi: 3252
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 1000
Durasi Proses Pencarian: 38074 ms

Percobaan 2

State Awal Cube	State Akhir Cube
	

Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z
Sisi ke sumbu x ----- Sisi ke- 1 ------ 109 |68 |40 |12 |85 | 108 |59 |110 |97 |21 | 70 |94 |92 |6 |8 | 30 |25 |2 |90 |87 | 48 |91 |96 |115 |56 | ----- Sisi ke- 2 ------ 105 |95 |118 |82 |112 | 66 |63 |10 |55 |45 | 11 |14 |64 |84 |76 | 116 |7 |44 |78 |41 | 80 |17 |16 |38 |71 | ----- Sisi ke- 3 ------ 37 |27 |113 |22 |31 | 98 |99 |104 |79 |100 | 120 |106 |53 |34 |29 | 1 |58 |73 |49 |42 | 47 |3 |50 |102 |43 | ----- Sisi ke- 4 ------ 77 |61 |93 |32 |83 | 74 |33 |5 |46 |23 | 67 |9 |26 |35 |103 | 101 |20 |111 |125 |114 | 86 |69 |39 |13 |52 | ----- Sisi ke- 5 ------ 4 |15 |28 |123 |121 | 107 |88 |81 |117 |65 | 122 |19 |18 |89 |119 | 54 |57 |24 |124 |72 | 36 |51 |62 |75 |60 |	Sisi ke sumbu y ----- Sisi ke- 1 ------ 109 |108 |70 |30 |48 | 105 |66 |11 |116 |80 | 37 |98 |120 |1 |47 | 77 |74 |67 |101 |86 | 4 |107 |122 |54 |36 | ----- Sisi ke- 2 ------ 68 |59 |94 |25 |91 | 95 |63 |14 |7 |17 | 27 |99 |106 |58 |3 | 61 |33 |9 |20 |69 | 15 |88 |19 |57 |51 | ----- Sisi ke- 3 ------ 40 |110 |92 |2 |96 | 118 |10 |64 |44 |16 | 113 |104 |53 |73 |50 | 93 |5 |26 |111 |39 | 28 |81 |18 |24 |62 | ----- Sisi ke- 4 ------ 12 |97 |6 |90 |115 | 82 |55 |84 |78 |38 | 22 |79 |34 |49 |102 | 32 |46 |35 |125 |13 | 123 |117 |89 |124 |75 | ----- Sisi ke- 5 ------ 85 |21 |8 |87 |56 | 112 |45 |76 |41 |71 | 31 |100 |29 |42 |43 | 83 |23 |103 |114 |52 | 121 |65 |119 |72 |60 |	Sisi ke sumbu z ----- Sisi ke- 1 ------ 109 |105 |37 |77 |4 | 68 |95 |27 |61 |15 | 40 |118 |113 |93 |28 | 12 |82 |22 |32 |123 | 85 |112 |31 |83 |121 | ----- Sisi ke- 2 ------ 108 |66 |98 |74 |107 | 59 |63 |99 |33 |88 | 110 |10 |104 |5 |81 | 97 |55 |79 |46 |117 | 21 |45 |100 |23 |65 | ----- Sisi ke- 3 ------ 70 |11 |120 |67 |122 | 94 |14 |106 |9 |19 | 92 |64 |53 |26 |18 | 6 |84 |34 |35 |89 | 8 |76 |29 |103 |119 | ----- Sisi ke- 4 ------ 30 |116 |1 |101 |54 | 25 |7 |58 |20 |57 | 2 |44 |73 |111 |24 | 90 |78 |49 |125 |124 | 87 |41 |42 |114 |72 | ----- Sisi ke- 5 ------ 48 |80 |47 |86 |36 | 91 |17 |3 |69 |51 | 96 |16 |50 |39 |62 | 115 |38 |102 |13 |75 | 56 |71 |43 |52 |60 |	Sisi ke sumbu x ----- Sisi ke- 1 ------ 30 |46 |64 |71 |44 | 54 |18 |63 |67 |37 | 64 |39 |101 |76 |77 | 27 |112 |55 |64 |76 | 65 |56 |117 |77 |64 | ----- Sisi ke- 2 ------ 49 |80 |65 |65 |39 | 104 |26 |52 |3 |102 | 25 |81 |67 |116 |32 | 68 |2 |62 |39 |59 | 120 |101 |24 |6 |103 | ----- Sisi ke- 3 ------ 46 |111 |81 |75 |34 | 56 |18 |68 |120 |30 | 56 |125 |33 |44 |46 | 110 |82 |64 |84 |57 | 65 |25 |83 |65 |88 | ----- Sisi ke- 4 ------ 90 |32 |125 |11 |62 | 49 |116 |65 |80 |46 | 72 |59 |21 |43 |108 | 58 |56 |46 |112 |81 | 89 |114 |20 |73 |30 | ----- Sisi ke- 5 ------ 37 |10 |24 |48 |116 | 76 |112 |68 |5 |96 | 117 |1 |90 |93 |53 | 43 |104 |67 |69 |54 | 85 |66 |71 |114 |1 |	Sisi ke sumbu y ----- Sisi ke- 1 ------ 30 |54 |64 |27 |65 | 49 |104 |25 |68 |120 | 46 |56 |56 |110 |65 | 90 |49 |72 |58 |89 | 37 |76 |117 |43 |85 | ----- Sisi ke- 2 ------ 46 |18 |39 |112 |56 | 80 |26 |81 |2 |101 | 111 |18 |125 |82 |25 | 32 |116 |59 |56 |114 | 10 |112 |1 |104 |66 | ----- Sisi ke- 3 ------ 64 |63 |101 |55 |117 | 65 |52 |67 |62 |24 | 81 |68 |33 |64 |83 | 125 |65 |21 |46 |20 | 24 |68 |90 |67 |71 | ----- Sisi ke- 4 ------ 71 |67 |76 |64 |77 | 65 |3 |116 |39 |6 | 75 |120 |44 |84 |65 | 11 |80 |43 |112 |73 | 48 |5 |93 |69 |114 | ----- Sisi ke- 5 ------ 44 |37 |77 |76 |64 | 39 |102 |32 |59 |103 | 34 |30 |46 |57 |88 | 62 |46 |108 |81 |30 | 116 |96 |53 |54 |1 |	Sisi ke sumbu z ----- Sisi ke- 1 ------ 30 |49 |46 |90 |37 | 46 |80 |111 |32 |10 | 64 |65 |81 |125 |24 | 71 |65 |75 |11 |48 | 44 |39 |34 |62 |116 | ----- Sisi ke- 2 ------ 54 |104 |56 |49 |76 | 18 |26 |18 |116 |112 | 63 |52 |68 |65 |68 | 67 |3 |120 |80 |5 | 37 |102 |30 |46 |96 | ----- Sisi ke- 3 ------ 64 |25 |56 |72 |117 | 39 |81 |125 |59 |1 | 101 |67 |33 |21 |90 | 76 |116 |44 |43 |93 | 77 |32 |46 |108 |53 | ----- Sisi ke- 4 ------ 27 |68 |110 |58 |43 | 112 |2 |82 |56 |104 | 55 |62 |64 |46 |67 | 64 |39 |84 |112 |69 | 76 |59 |57 |81 |54 | ----- Sisi ke- 5 ------ 65 |120 |65 |89 |85 | 56 |101 |25 |114 |66 | 117 |24 |83 |20 |71 | 77 |6 |65 |73 |114 | 64 |103 |88 |30 |1 |
Nilai Objective Function Awal: 6756			Nilai Objective Function Akhir: 3249 (Best: 3209)		

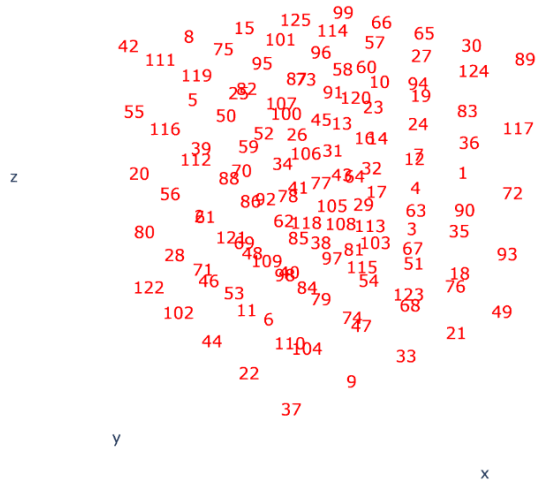
Plot Nilai Objective Function Minimum dan Rata-rata:



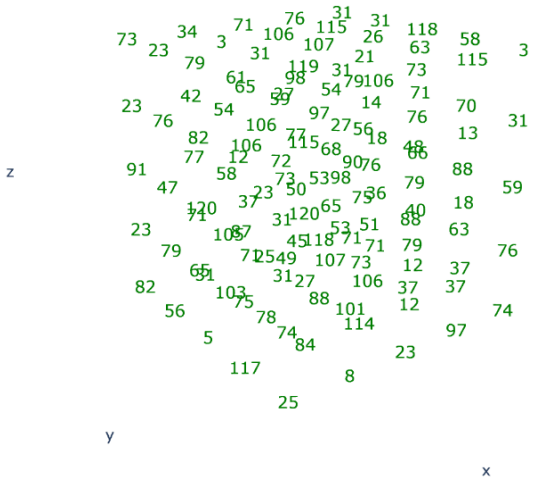
Nilai Objective Function Terendah dari Populasi Terakhir: 3249
Nilai Objective Function Rata-rata dari Populasi Terakhir: 3676.13
Nilai Objective Function Terbaik dari Seluruh Populasi: 3209
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 1000
Durasi Proses Pencarian: 37709 ms

Percobaan 3

State Awal Cube



State Akhir Cube



Sumbu X

```
Sisi ke sumbu x


----- Sisi ke- 1 ------

108 |43 |13 |58 |99 |
103 |17 |14 |10 |66 |
51 |63 |7 |19 |65 |
76 |35 |1 |83 |30 |
49 |93 |72 |117 |89 |

----- Sisi ke- 2 ------

85 |41 |26 |87 |125 |
97 |105 |31 |91 |114 |
54 |113 |32 |23 |57 |
68 |67 |4 |24 |27 |
21 |18 |90 |36 |124 |

----- Sisi ke- 3 ------

48 |86 |59 |82 |15 |
98 |62 |34 |107 |101 |
79 |38 |77 |45 |96 |
47 |115 |29 |16 |60 |
33 |123 |3 |12 |94 |

----- Sisi ke- 4 ------

71 |2 |112 |5 |8 |
53 |121 |88 |50 |75 |
6 |109 |92 |52 |95 |
104 |84 |118 |106 |73 |
9 |74 |81 |64 |120 |

----- Sisi ke- 5 ------

122 |80 |20 |55 |42 |
102 |28 |56 |116 |111 |
44 |46 |61 |39 |119 |
22 |11 |69 |70 |25 |
37 |110 |40 |78 |100 |
```

Sumbu Y

```
Sisi ke sumbu y


----- Sisi ke- 1 ------

108 |103 |51 |76 |49 |
85 |97 |54 |68 |21 |
48 |98 |79 |47 |33 |
71 |53 |6 |104 |9 |
122 |102 |44 |22 |37 |

----- Sisi ke- 2 ------

43 |17 |63 |35 |93 |
41 |105 |113 |67 |18 |
86 |62 |38 |115 |123 |
2 |121 |109 |84 |74 |
80 |28 |46 |11 |110 |

----- Sisi ke- 3 ------

13 |14 |7 |1 |72 |
26 |31 |32 |4 |90 |
59 |34 |77 |29 |3 |
112 |88 |92 |118 |81 |
20 |56 |61 |69 |40 |

----- Sisi ke- 4 ------

58 |10 |19 |83 |117 |
87 |91 |23 |24 |36 |
82 |107 |45 |16 |12 |
5 |50 |52 |106 |64 |
55 |116 |39 |70 |78 |

----- Sisi ke- 5 ------

99 |66 |65 |30 |89 |
125 |114 |57 |27 |124 |
15 |101 |96 |60 |94 |
8 |75 |95 |73 |120 |
42 |111 |119 |25 |100 |
```

Sumbu Z

```
Sisi ke sumbu z


----- Sisi ke- 1 ------

108 |85 |48 |71 |122 |
43 |41 |86 |2 |80 |
13 |26 |59 |112 |20 |
58 |87 |82 |5 |55 |
99 |125 |15 |8 |42 |

----- Sisi ke- 2 ------

103 |97 |98 |53 |102 |
17 |105 |62 |121 |28 |
14 |31 |34 |88 |56 |
10 |91 |107 |50 |116 |
66 |114 |101 |75 |111 |

----- Sisi ke- 3 ------

51 |54 |79 |6 |44 |
63 |113 |38 |109 |46 |
7 |32 |77 |92 |61 |
19 |23 |45 |52 |39 |
65 |57 |96 |95 |119 |

----- Sisi ke- 4 ------

76 |68 |47 |104 |22 |
35 |67 |115 |84 |11 |
1 |4 |29 |118 |69 |
83 |24 |16 |106 |70 |
30 |27 |60 |73 |25 |

----- Sisi ke- 5 ------

49 |21 |33 |9 |37 |
93 |18 |123 |74 |110 |
72 |90 |3 |81 |40 |
117 |36 |12 |64 |78 |
89 |124 |94 |120 |100 |
```

Sumbu X

```
Sisi ke sumbu x


----- Sisi ke- 1 ------

53 |98 |27 |31 |31 |
71 |36 |18 |106 |31 |
12 |40 |66 |71 |118 |
37 |63 |88 |70 |58 |
74 |76 |59 |31 |3 |

----- Sisi ke- 2 ------

45 |50 |77 |98 |76 |
107 |65 |68 |54 |115 |
106 |51 |76 |14 |26 |
12 |79 |79 |76 |63 |
97 |37 |18 |13 |115 |

----- Sisi ke- 3 ------

71 |37 |106 |65 |71 |
31 |31 |72 |59 |106 |
88 |118 |53 |97 |107 |
114 |73 |75 |56 |21 |
23 |37 |88 |48 |73 |

----- Sisi ke- 4 ------

65 |71 |77 |42 |34 |
103 |105 |58 |54 |3 |
78 |25 |23 |106 |31 |
84 |27 |120 |115 |119 |
8 |101 |71 |90 |79 |

----- Sisi ke- 5 ------

82 |23 |91 |23 |73 |
56 |79 |47 |76 |23 |
5 |31 |120 |82 |79 |
117 |75 |87 |12 |61 |
25 |74 |49 |73 |27 |
```

Sumbu Y

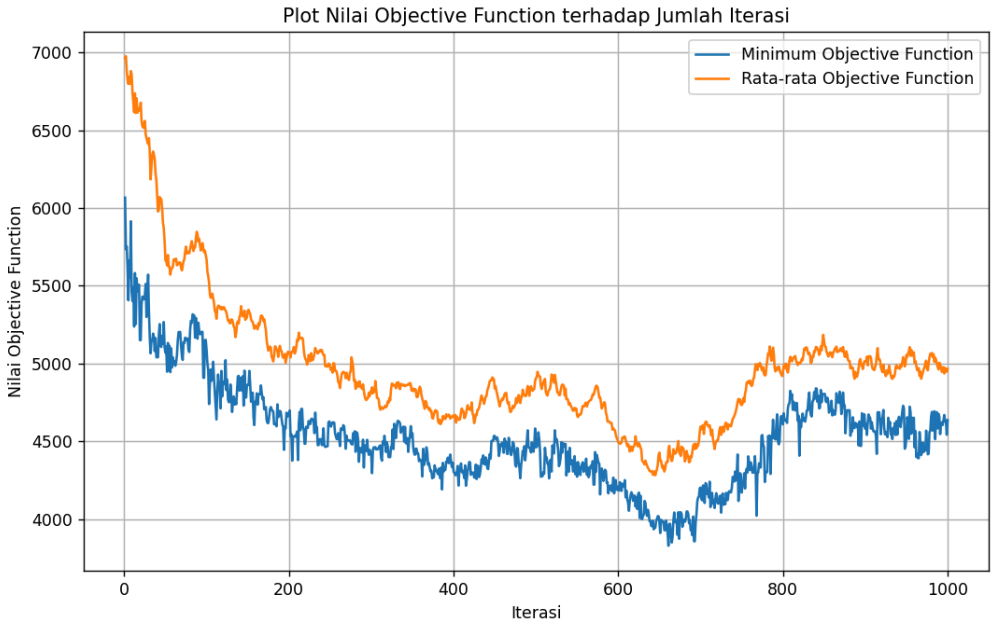
```
Sisi ke sumbu y


----- Sisi ke- 1 ------

53 |71 |12 |37 |74 |
45 |107 |106 |12 |97 |
71 |31 |88 |114 |23 |
65 |103 |78 |84 |8 |
82 |56 |5 |117 |25 |

----- Sisi ke- 2 ------

98 |36 |40 |63 |76 |
50 |65 |51 |79 |37 |
37 |31 |118 |73 |37 |
71 |105 |25 |27 |101 |
23 |79 |31 |75 |74 |

----- Sisi ke- 3 ------

27 |18 |66 |88 |59 |
77 |68 |76 |79 |18 |
106 |72 |53 |75 |88 |
77 |58 |23 |120 |71 |
91 |47 |120 |87 |49 |

----- Sisi ke- 4 ------

31 |106 |71 |70 |31 |
98 |54 |14 |76 |13 |
65 |59 |97 |56 |48 |
42 |54 |106 |115 |90 |
23 |76 |82 |12 |73 |

----- Sisi ke- 5 ------

31 |31 |118 |58 |3 |
76 |115 |26 |63 |115 |
71 |106 |107 |21 |73 |
34 |3 |31 |119 |79 |
73 |23 |79 |61 |27 |
```

Sumbu Z

```
Sisi ke sumbu z


----- Sisi ke- 1 ------

53 |45 |71 |65 |82 |
98 |50 |37 |71 |23 |
27 |77 |106 |77 |91 |
31 |98 |65 |42 |23 |
31 |76 |71 |34 |73 |

----- Sisi ke- 2 ------

71 |107 |31 |103 |56 |
36 |65 |31 |105 |79 |
18 |68 |72 |58 |47 |
106 |54 |59 |54 |76 |
31 |115 |106 |3 |23 |

----- Sisi ke- 3 ------

12 |106 |88 |78 |5 |
40 |51 |118 |25 |31 |
66 |76 |53 |23 |120 |
71 |14 |97 |106 |82 |
118 |26 |107 |31 |79 |

----- Sisi ke- 4 ------

37 |12 |114 |84 |117 |
63 |79 |73 |27 |75 |
88 |79 |75 |120 |87 |
70 |76 |56 |115 |12 |
58 |63 |21 |119 |61 |

----- Sisi ke- 5 ------

74 |97 |23 |8 |25 |
76 |37 |37 |101 |74 |
59 |18 |88 |71 |49 |
31 |13 |48 |90 |73 |
3 |115 |73 |79 |27 |
```

Nilai Objective Function Awal: 7826	Nilai Objective Function Akhir: 4637 (Best: 3829)

Plot Nilai Objective Function Minimum dan Rata-rata:



Nilai Objective Function Terendah dari Populasi Terakhir: 4637
Nilai Objective Function Rata-rata dari Populasi Terakhir: 4965.78
Nilai Objective Function Terbaik dari Seluruh Populasi: 3829
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 1000
Durasi Proses Pencarian: 38152 ms

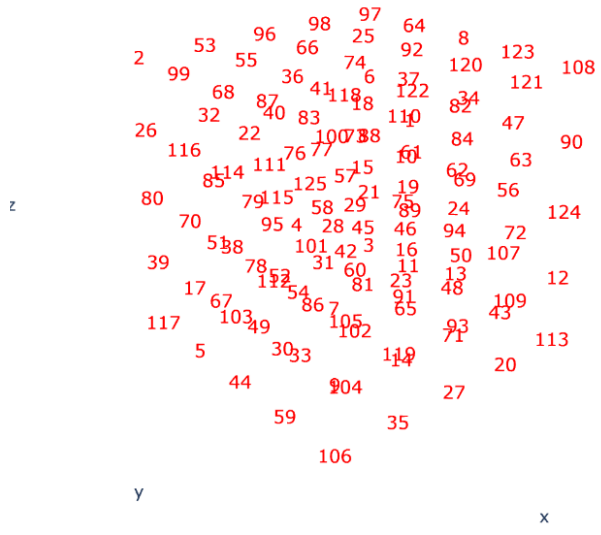
2. Variasi Kontrol Jumlah Iterasi:

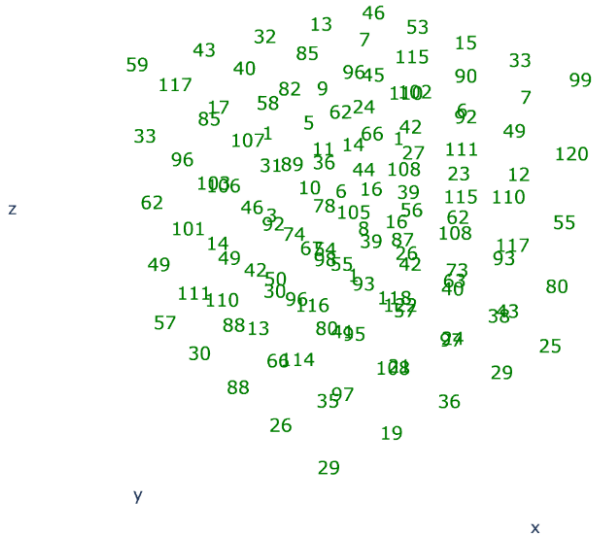
Variasi ini akan menetapkan jumlah maksimum iterasi sebesar 100 sebagai kontrol. Lalu, akan diberikan jumlah populasi menjadi 3 jenis, yakni sebesar 10, 100, dan 1000. Berikut adalah hasil percobaan menggunakan metode Genetic Algorithm dengan variansi jumlah populasi sebagai kontrol yang ditetapkan:

2.1 - Jumlah Populasi 10

Percobaan 1

State Awal Cube	State Akhir Cube





Sumbu X

```
Sisi ke sumbu x


----- Sisi ke- 1 ------

3 |21 |88 |6 |97 |
11 |89 |61 |122 |64 |
48 |94 |62 |82 |8 |
43 |107 |56 |47 |123 |
113 |12 |124 |90 |108 |

----- Sisi ke- 2 ------

31 |58 |77 |41 |98 |
81 |45 |15 |18 |25 |
65 |16 |19 |1 |92 |
71 |13 |24 |84 |120 |
20 |109 |72 |63 |121 |

----- Sisi ke- 3 ------

112 |95 |111 |87 |96 |
86 |101 |125 |83 |66 |
102 |60 |29 |73 |74 |
14 |91 |46 |10 |37 |
27 |93 |50 |69 |34 |

----- Sisi ke- 4 ------

67 |51 |85 |32 |53 |
49 |78 |79 |22 |55 |
33 |54 |4 |76 |36 |
104 |105 |42 |57 |118 |
35 |119 |23 |75 |110 |

----- Sisi ke- 5 ------

117 |39 |80 |26 |2 |
5 |17 |70 |116 |99 |
44 |103 |38 |114 |68 |
59 |30 |52 |115 |40 |
106 |9 |7 |28 |100 |
```

Sumbu Y

```
Sisi ke sumbu y


----- Sisi ke- 1 ------

3 |11 |48 |43 |113 |
31 |81 |65 |71 |20 |
112 |86 |102 |14 |27 |
67 |49 |33 |104 |35 |
117 |5 |44 |59 |106 |

----- Sisi ke- 2 ------

21 |89 |94 |107 |12 |
58 |45 |16 |13 |109 |
95 |101 |60 |91 |93 |
51 |78 |54 |105 |119 |
39 |17 |103 |30 |9 |

----- Sisi ke- 3 ------

88 |61 |62 |56 |124 |
77 |15 |19 |24 |72 |
111 |125 |29 |46 |50 |
85 |79 |4 |42 |23 |
80 |70 |38 |52 |7 |

----- Sisi ke- 4 ------

6 |122 |82 |47 |90 |
41 |18 |1 |84 |63 |
87 |83 |73 |10 |69 |
32 |22 |76 |57 |75 |
26 |116 |114 |115 |28 |

----- Sisi ke- 5 ------

97 |64 |8 |123 |108 |
98 |25 |92 |120 |121 |
96 |66 |74 |37 |34 |
53 |55 |36 |118 |110 |
2 |99 |68 |40 |100 |
```

Sumbu Z

```
Sisi ke sumbu z


----- Sisi ke- 1 ------

3 |31 |112 |67 |117 |
21 |58 |95 |51 |39 |
88 |77 |111 |85 |80 |
6 |41 |87 |32 |26 |
97 |98 |96 |53 |2 |

----- Sisi ke- 2 ------

11 |81 |86 |49 |5 |
89 |45 |101 |78 |17 |
61 |15 |125 |79 |70 |
122 |18 |83 |22 |116 |
64 |25 |66 |55 |99 |

----- Sisi ke- 3 ------

48 |65 |102 |33 |44 |
94 |16 |60 |54 |103 |
62 |19 |29 |4 |38 |
82 |1 |73 |76 |114 |
8 |92 |74 |36 |68 |

----- Sisi ke- 4 ------

43 |71 |14 |104 |59 |
107 |13 |91 |105 |30 |
56 |24 |46 |42 |52 |
47 |84 |10 |57 |115 |
123 |120 |37 |118 |40 |

----- Sisi ke- 5 ------

113 |20 |27 |35 |106 |
12 |109 |93 |119 |9 |
124 |72 |50 |23 |7 |
90 |63 |69 |75 |28 |
108 |121 |34 |110 |100 |
```

Sumbu X

```
Sisi ke sumbu x


----- Sisi ke- 1 ------

39 |16 |66 |45 |46 |
42 |56 |27 |102 |53 |
40 |108 |23 |6 |15 |
38 |93 |110 |49 |33 |
25 |80 |55 |120 |99 |

----- Sisi ke- 2 ------

98 |78 |11 |9 |13 |
93 |8 |44 |24 |7 |
57 |26 |39 |42 |115 |
97 |63 |62 |111 |90 |
29 |43 |117 |12 |7 |

----- Sisi ke- 3 ------

50 |92 |31 |58 |32 |
116 |67 |10 |5 |85 |
95 |1 |105 |14 |96 |
21 |122 |87 |108 |110 |
36 |24 |73 |115 |92 |

----- Sisi ke- 4 ------

110 |14 |103 |85 |43 |
13 |42 |46 |107 |40 |
114 |96 |74 |89 |82 |
97 |41 |55 |6 |62 |
19 |108 |118 |16 |1 |

----- Sisi ke- 5 ------

57 |49 |62 |33 |59 |
30 |111 |101 |96 |117 |
88 |88 |49 |106 |17 |
26 |66 |30 |3 |1 |
29 |35 |80 |54 |36 |
```

Sumbu Y

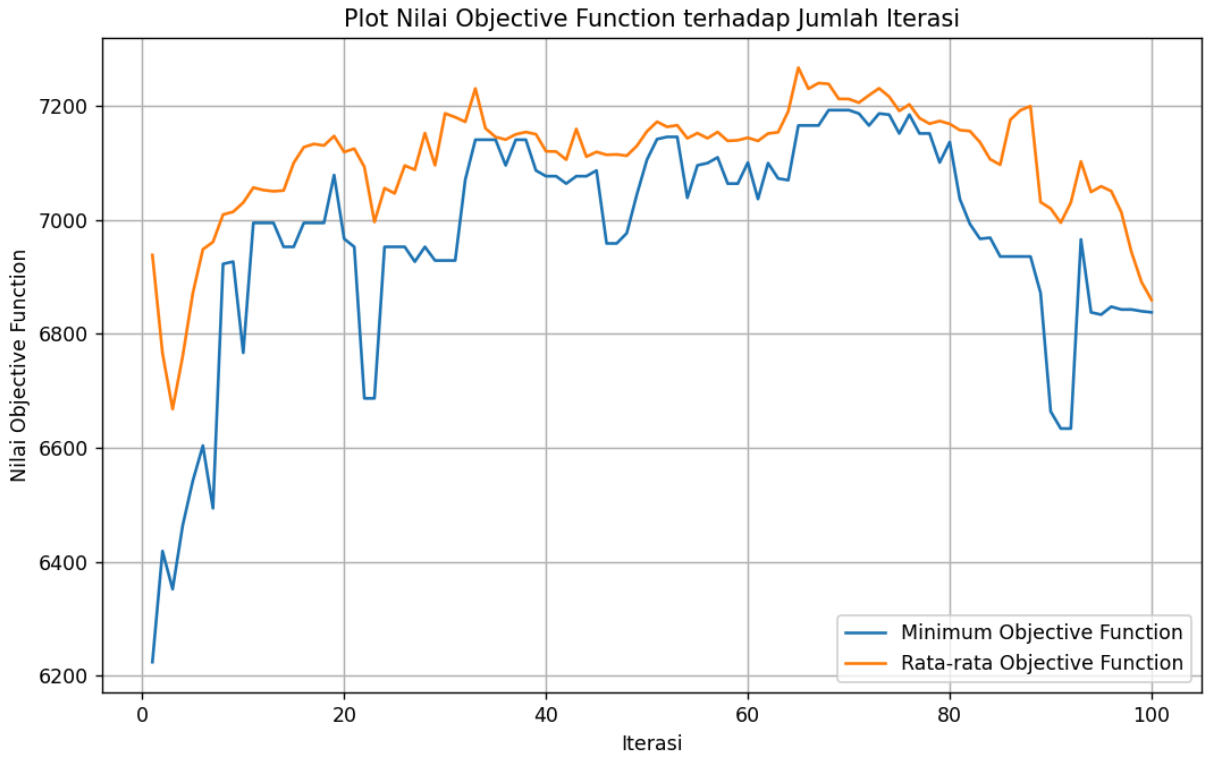
```
Sisi ke sumbu y


----- Sisi ke- 1 ------

39 |42 |40 |38 |25 |
98 |93 |57 |97 |29 |
50 |116 |95 |21 |36 |
110 |13 |114 |97 |19 |
57 |30 |88 |26 |29 |

----- Sisi ke- 2 ------

16 |56 |108 |93 |80 |
78 |8 |26 |63 |43 |
92 |67 |1 |122 |24 |
14 |42 |96 |41 |108 |
49 |111 |88 |66 |35 |

----- Sisi ke- 3 ------

66 |27 |23 |110 |55 |
11 |44 |39 |62 |117 |
31 |10 |105 |87 |73 |
103 |46 |74 |55 |118 |
62 |101 |49 |30 |80 |

----- Sisi ke- 4 ------

45 |102 |6 |49 |120 |
9 |24 |42 |111 |12 |
58 |5 |14 |108 |115 |
85 |107 |89 |6 |16 |
33 |96 |106 |3 |54 |

----- Sisi ke- 5 ------

46 |53 |15 |33 |99 |
13 |7 |115 |90 |7 |
32 |85 |96 |110 |92 |
43 |40 |82 |62 |1 |
59 |117 |17 |1 |36 |
```

Sumbu Z

```
Sisi ke sumbu z


----- Sisi ke- 1 ------

39 |98 |50 |110 |57 |
16 |78 |92 |14 |49 |
66 |11 |31 |103 |62 |
45 |9 |58 |85 |33 |
46 |13 |32 |43 |59 |

----- Sisi ke- 2 ------

42 |93 |116 |13 |30 |
56 |8 |67 |42 |111 |
27 |44 |10 |46 |101 |
102 |24 |5 |107 |96 |
53 |7 |85 |40 |117 |

----- Sisi ke- 3 ------

40 |57 |95 |114 |88 |
108 |26 |1 |96 |88 |
23 |39 |105 |74 |49 |
6 |42 |14 |89 |106 |
15 |115 |96 |82 |17 |

----- Sisi ke- 4 ------

38 |97 |21 |97 |26 |
93 |63 |122 |41 |66 |
110 |62 |87 |55 |30 |
49 |111 |108 |6 |3 |
33 |90 |110 |62 |1 |

----- Sisi ke- 5 ------

25 |29 |36 |19 |29 |
80 |43 |24 |108 |35 |
55 |117 |73 |118 |80 |
120 |12 |115 |16 |54 |
99 |7 |92 |1 |36 |
```

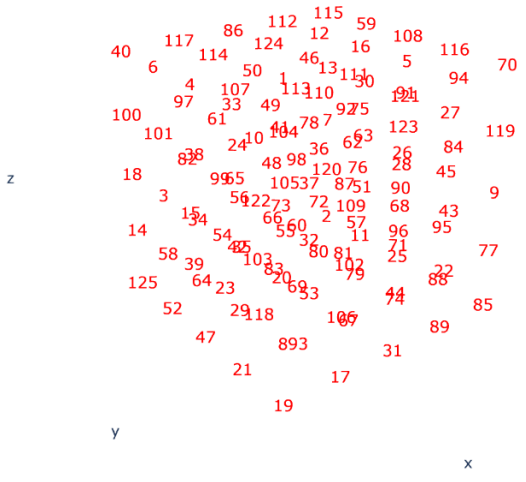
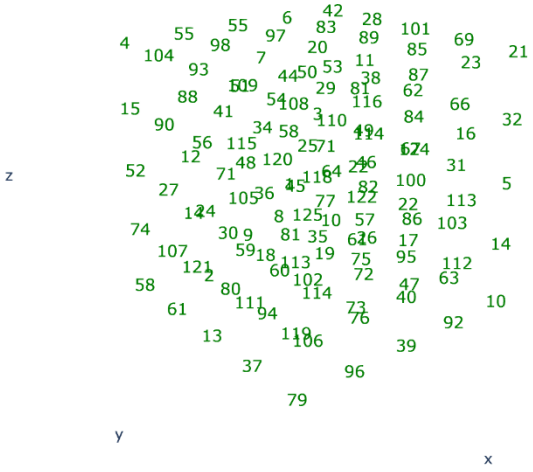
Nilai Objective Function Awal: 7418	Nilai Objective Function Akhir: 6838 (Best: 6224)

Plot Nilai Objective Function Minimum dan Rata-rata:



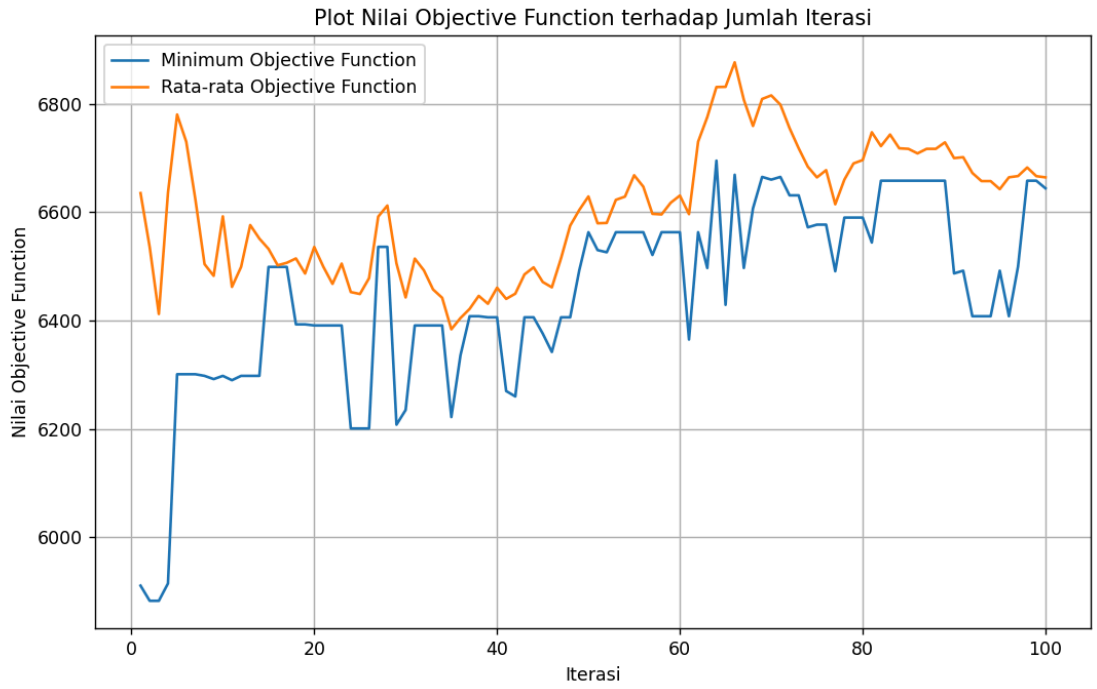
Nilai Objective Function Terendah dari Populasi Terakhir: 6838
Nilai Objective Function Rata-rata dari Populasi Terakhir: 6859.6
Nilai Objective Function Terbaik dari Seluruh Populasi: 6224
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 100
Durasi Proses Pencarian: 407 ms

Percobaan 2

State Awal Cube	State Akhir Cube
	

Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z
Sisi ke sumbu x ----- Sisi ke- 1 ------ 2 |120 |7 |13 |115 | 11 |51 |63 |30 |59 | 25 |68 |26 |121 |108 | 88 |95 |45 |27 |116 | 85 |77 |9 |119 |70 | ----- Sisi ke- 2 ------ 55 |105 |104 |1 |112 | 80 |72 |36 |110 |12 | 79 |57 |76 |75 |16 | 74 |71 |90 |123 |5 | 89 |22 |43 |84 |94 | ----- Sisi ke- 3 ------ 35 |56 |24 |107 |86 | 83 |66 |48 |49 |124 | 53 |32 |37 |78 |46 | 67 |102 |109 |62 |111 | 31 |44 |96 |28 |91 | ----- Sisi ke- 4 ------ 39 |15 |82 |97 |117 | 23 |54 |99 |61 |114 | 118 |103 |122 |10 |50 | 93 |69 |60 |98 |113 | 17 |106 |81 |87 |92 | ----- Sisi ke- 5 ------ 125 |14 |18 |100 |40 | 52 |58 |3 |101 |6 | 47 |64 |34 |38 |4 | 21 |29 |42 |65 |33 | 19 |8 |20 |73 |41 |	Sisi ke sumbu y ----- Sisi ke- 1 ------ 2 |11 |25 |88 |85 | 55 |80 |79 |74 |89 | 35 |83 |53 |67 |31 | 39 |23 |118 |93 |17 | 125 |52 |47 |21 |19 | ----- Sisi ke- 2 ------ 120 |51 |68 |95 |77 | 105 |72 |57 |71 |22 | 56 |66 |32 |102 |44 | 15 |54 |103 |69 |106 | 14 |58 |64 |29 |8 | ----- Sisi ke- 3 ------ 7 |63 |26 |45 |9 | 104 |36 |76 |90 |43 | 24 |48 |37 |109 |96 | 82 |99 |122 |60 |81 | 18 |3 |34 |42 |20 | ----- Sisi ke- 4 ------ 13 |30 |121 |27 |119 | 1 |110 |75 |123 |84 | 107 |49 |78 |62 |28 | 97 |61 |10 |98 |87 | 100 |101 |38 |65 |73 | ----- Sisi ke- 5 ------ 115 |59 |108 |116 |70 | 112 |12 |16 |5 |94 | 86 |124 |46 |111 |91 | 117 |114 |50 |113 |92 | 40 |6 |4 |33 |41 |	Sisi ke sumbu z ----- Sisi ke- 1 ------ 2 |55 |35 |39 |125 | 120 |105 |56 |15 |14 | 7 |104 |24 |82 |18 | 13 |1 |107 |97 |100 | 115 |112 |86 |117 |40 | ----- Sisi ke- 2 ------ 11 |80 |83 |23 |52 | 51 |72 |66 |54 |58 | 63 |36 |48 |99 |3 | 30 |110 |49 |61 |101 | 59 |12 |124 |114 |6 | ----- Sisi ke- 3 ------ 25 |79 |53 |118 |47 | 68 |57 |32 |103 |64 | 26 |76 |37 |122 |34 | 121 |75 |78 |10 |38 | 108 |16 |46 |50 |4 | ----- Sisi ke- 4 ------ 88 |74 |67 |93 |21 | 95 |71 |102 |69 |29 | 45 |90 |109 |60 |42 | 27 |123 |62 |98 |65 | 116 |5 |111 |113 |33 | ----- Sisi ke- 5 ------ 85 |89 |31 |17 |19 | 77 |22 |44 |106 |8 | 9 |43 |96 |81 |20 | 119 |84 |28 |87 |73 | 70 |94 |91 |92 |41 |	Sisi ke sumbu x ----- Sisi ke- 1 ------ 10 |64 |110 |53 |42 | 26 |82 |114 |38 |28 | 95 |22 |67 |62 |101 | 63 |103 |31 |66 |69 | 10 |14 |5 |32 |21 | ----- Sisi ke- 2 ------ 81 |1 |58 |44 |6 | 19 |77 |71 |29 |83 | 72 |57 |46 |116 |89 | 40 |17 |100 |84 |85 | 92 |112 |113 |16 |23 | ----- Sisi ke- 3 ------ 59 |105 |115 |51 |55 | 60 |8 |120 |54 |97 | 114 |35 |118 |3 |20 | 76 |75 |122 |49 |11 | 39 |47 |86 |124 |87 | ----- Sisi ke- 4 ------ 121 |14 |12 |88 |55 | 80 |30 |71 |41 |98 | 94 |18 |36 |34 |7 | 106 |102 |125 |25 |50 | 96 |73 |61 |22 |81 | ----- Sisi ke- 5 ------ 58 |74 |52 |15 |4 | 61 |107 |27 |90 |104 | 13 |2 |24 |56 |93 | 37 |111 |9 |48 |109 | 79 |119 |113 |45 |108 |	Sisi ke sumbu y ----- Sisi ke- 1 ------ 10 |26 |95 |63 |10 | 81 |19 |72 |40 |92 | 59 |60 |114 |76 |39 | 121 |80 |94 |106 |96 | 58 |61 |13 |37 |79 | ----- Sisi ke- 2 ------ 64 |82 |22 |103 |14 | 1 |77 |57 |17 |112 | 105 |8 |35 |75 |47 | 14 |30 |18 |102 |73 | 74 |107 |2 |111 |119 | ----- Sisi ke- 3 ------ 110 |114 |67 |31 |5 | 58 |71 |46 |100 |113 | 115 |120 |118 |122 |86 | 12 |71 |36 |125 |61 | 52 |27 |24 |9 |113 | ----- Sisi ke- 4 ------ 53 |38 |62 |66 |32 | 44 |29 |116 |84 |16 | 51 |54 |3 |49 |124 | 88 |41 |34 |25 |22 | 15 |90 |56 |48 |45 | ----- Sisi ke- 5 ------ 42 |28 |101 |69 |21 | 6 |83 |89 |85 |23 | 55 |97 |20 |11 |87 | 55 |98 |7 |50 |81 | 4 |104 |93 |109 |108 |	Sisi ke sumbu z ----- Sisi ke- 1 ------ 10 |81 |59 |121 |58 | 64 |1 |105 |14 |74 | 110 |58 |115 |12 |52 | 53 |44 |51 |88 |15 | 42 |6 |55 |55 |4 | ----- Sisi ke- 2 ------ 26 |19 |60 |80 |61 | 82 |77 |8 |30 |107 | 114 |71 |120 |71 |27 | 38 |29 |54 |41 |90 | 28 |83 |97 |98 |104 | ----- Sisi ke- 3 ------ 95 |72 |114 |94 |13 | 22 |57 |35 |18 |2 | 67 |46 |118 |36 |24 | 62 |116 |3 |34 |56 | 101 |89 |20 |7 |93 | ----- Sisi ke- 4 ------ 63 |40 |76 |106 |37 | 103 |17 |75 |102 |111 | 31 |100 |122 |125 |9 | 66 |84 |49 |25 |48 | 69 |85 |11 |50 |109 | ----- Sisi ke- 5 ------ 10 |92 |39 |96 |79 | 14 |112 |47 |73 |119 | 5 |113 |86 |61 |113 | 32 |16 |124 |22 |45 | 21 |23 |87 |81 |108 |
Nilai Objective Function Awal: 7176			Nilai Objective Function Akhir: 6644 (best 5883)		

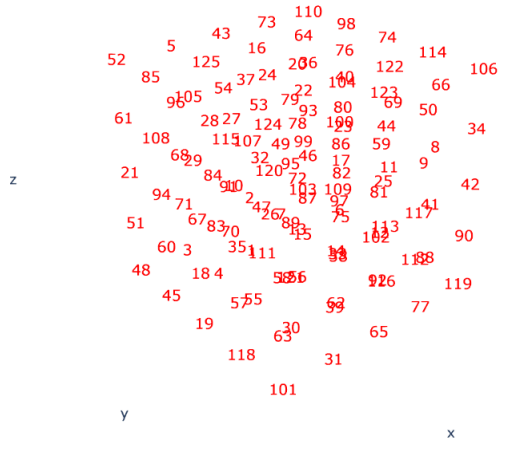
Plot Nilai Objective Function Minimum dan Rata-rata:



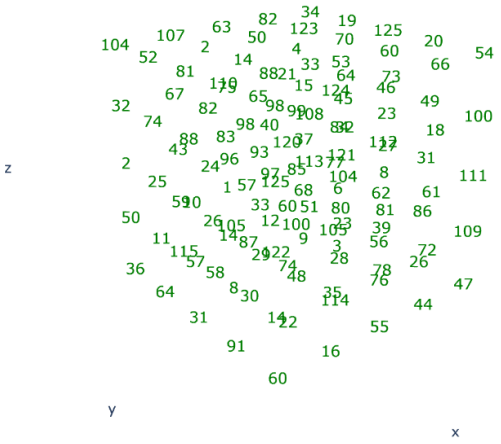
Nilai Objective Function Terendah dari Populasi Terakhir: 6644
Nilai Objective Function Rata-rata dari Populasi Terakhir: 6664.2
Nilai Objective Function Terbaik dari Seluruh Populasi: 5883
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 100
Durasi Proses Pencarian: 402 ms

Percobaan 3

State Awal Cube



State Akhir Cube



Sumbu X

```
Sisi ke sumbu x


----- Sisi ke- 1 ------

87 |46 |93 |36 |110 |
75 |82 |23 |40 |98 |
102 |81 |59 |123 |74 |
112 |117 |9 |50 |114 |
119 |90 |42 |34 |106 |

----- Sisi ke- 2 ------

26 |120 |124 |24 |73 |
15 |103 |99 |22 |64 |
38 |6 |17 |80 |76 |
92 |12 |25 |44 |122 |
77 |88 |41 |8 |66 |

----- Sisi ke- 3 ------

70 |91 |115 |54 |43 |
111 |47 |32 |53 |16 |
56 |13 |72 |78 |20 |
62 |33 |97 |86 |104 |
65 |116 |113 |11 |69 |

----- Sisi ke- 4 ------

3 |71 |68 |96 |5 |
4 |83 |84 |28 |125 |
55 |1 |2 |107 |37 |
30 |121 |89 |95 |79 |
31 |39 |14 |109 |100 |

----- Sisi ke- 5 ------

48 |51 |21 |61 |52 |
45 |60 |94 |108 |85 |
19 |18 |67 |29 |105 |
118 |57 |35 |10 |27 |
101 |63 |58 |7 |49 |
```

Sumbu Y

```
Sisi ke sumbu y


----- Sisi ke- 1 ------

87 |75 |102 |112 |119 |
26 |15 |38 |92 |77 |
70 |111 |56 |62 |65 |
3 |4 |55 |30 |31 |
48 |45 |19 |118 |101 |

----- Sisi ke- 2 ------

46 |82 |81 |117 |90 |
120 |103 |6 |12 |88 |
91 |47 |13 |33 |116 |
71 |83 |1 |121 |39 |
51 |60 |18 |57 |63 |

----- Sisi ke- 3 ------

93 |23 |59 |9 |42 |
124 |99 |17 |25 |41 |
115 |32 |72 |97 |113 |
68 |84 |2 |89 |14 |
21 |94 |67 |35 |58 |

----- Sisi ke- 4 ------

36 |40 |123 |50 |34 |
24 |22 |80 |44 |8 |
54 |53 |78 |86 |11 |
96 |28 |107 |95 |109 |
61 |108 |29 |10 |7 |

----- Sisi ke- 5 ------

110 |98 |74 |114 |106 |
73 |64 |76 |122 |66 |
43 |16 |20 |104 |69 |
5 |125 |37 |79 |100 |
52 |85 |105 |27 |49 |
```

Sumbu Z

```
Sisi ke sumbu z


----- Sisi ke- 1 ------

87 |26 |70 |3 |48 |
46 |120 |91 |71 |51 |
93 |124 |115 |68 |21 |
36 |24 |54 |96 |61 |
110 |73 |43 |5 |52 |

----- Sisi ke- 2 ------

75 |15 |111 |4 |45 |
82 |103 |47 |83 |60 |
23 |99 |32 |84 |94 |
40 |22 |53 |28 |108 |
98 |64 |16 |125 |85 |

----- Sisi ke- 3 ------

102 |38 |56 |55 |19 |
81 |6 |13 |1 |18 |
59 |17 |72 |2 |67 |
123 |80 |78 |107 |29 |
74 |76 |20 |37 |105 |

----- Sisi ke- 4 ------

112 |92 |62 |30 |118 |
117 |12 |33 |121 |57 |
9 |25 |97 |89 |35 |
50 |44 |86 |95 |10 |
114 |122 |104 |79 |27 |

----- Sisi ke- 5 ------

119 |77 |65 |31 |101 |
90 |88 |116 |39 |63 |
42 |41 |113 |14 |58 |
34 |8 |11 |109 |7 |
106 |66 |69 |100 |49 |
```

Sumbu X

```
Sisi ke sumbu x


----- Sisi ke- 1 ------

51 |113 |108 |33 |34 |
23 |104 |32 |64 |19 |
56 |62 |112 |46 |125 |
26 |86 |31 |49 |20 |
47 |109 |111 |100 |54 |

----- Sisi ke- 2 ------

12 |97 |40 |88 |82 |
9 |68 |37 |15 |123 |
28 |80 |121 |45 |70 |
76 |39 |8 |23 |60 |
44 |72 |61 |18 |66 |

----- Sisi ke- 3 ------

14 |1 |83 |110 |63 |
29 |33 |93 |65 |50 |
48 |100 |85 |99 |4 |
114 |3 |6 |84 |53 |
55 |78 |81 |27 |73 |

----- Sisi ke- 4 ------

115 |59 |43 |67 |107 |
58 |26 |24 |82 |2 |
30 |87 |57 |98 |14 |
22 |74 |60 |120 |21 |
16 |35 |105 |77 |124 |

----- Sisi ke- 5 ------

36 |50 |2 |32 |104 |
64 |11 |25 |74 |52 |
31 |57 |10 |88 |81 |
91 |8 |105 |96 |75 |
60 |14 |122 |125 |98 |
```

Sumbu Y

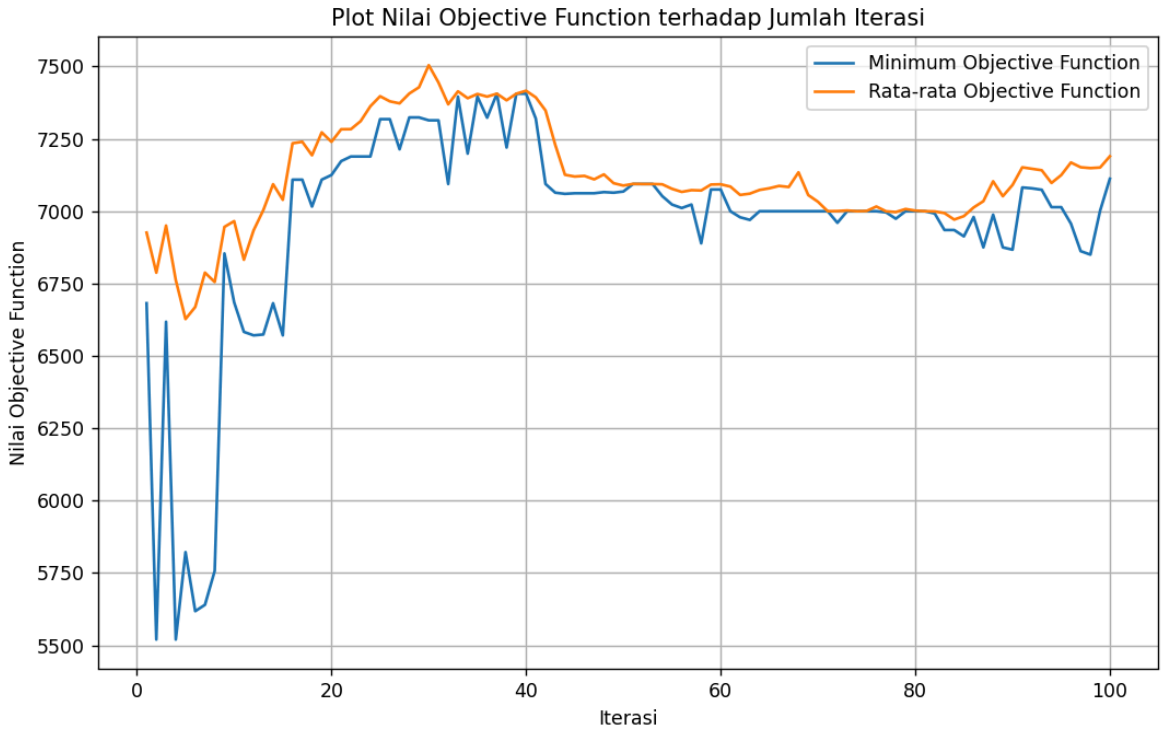
```
Sisi ke sumbu y


----- Sisi ke- 1 ------

51 |23 |56 |26 |47 |
12 |9 |28 |76 |44 |
14 |29 |48 |114 |55 |
115 |58 |30 |22 |16 |
36 |64 |31 |91 |60 |

----- Sisi ke- 2 ------

113 |104 |62 |86 |109 |
97 |68 |80 |39 |72 |
1 |33 |100 |3 |78 |
59 |26 |87 |74 |35 |
50 |11 |57 |8 |14 |

----- Sisi ke- 3 ------

108 |32 |112 |31 |111 |
40 |37 |121 |8 |61 |
83 |93 |85 |6 |81 |
43 |24 |57 |60 |105 |
2 |25 |10 |105 |122 |

----- Sisi ke- 4 ------

33 |64 |46 |49 |100 |
88 |15 |45 |23 |18 |
110 |65 |99 |84 |27 |
67 |82 |98 |120 |77 |
32 |74 |88 |96 |125 |

----- Sisi ke- 5 ------

34 |19 |125 |20 |54 |
82 |123 |70 |60 |66 |
63 |50 |4 |53 |73 |
107 |2 |14 |21 |124 |
104 |52 |81 |75 |98 |
```

Sumbu Z

```
Sisi ke sumbu z


----- Sisi ke- 1 ------

51 |12 |14 |115 |36 |
113 |97 |1 |59 |50 |
108 |40 |83 |43 |2 |
33 |88 |110 |67 |32 |
34 |82 |63 |107 |104 |

----- Sisi ke- 2 ------

23 |9 |29 |58 |64 |
104 |68 |33 |26 |11 |
32 |37 |93 |24 |25 |
64 |15 |65 |82 |74 |
19 |123 |50 |2 |52 |

----- Sisi ke- 3 ------

56 |28 |48 |30 |31 |
62 |80 |100 |87 |57 |
112 |121 |85 |57 |10 |
46 |45 |99 |98 |88 |
125 |70 |4 |14 |81 |

----- Sisi ke- 4 ------

26 |76 |114 |22 |91 |
86 |39 |3 |74 |8 |
31 |8 |6 |60 |105 |
49 |23 |84 |120 |96 |
20 |60 |53 |21 |75 |

----- Sisi ke- 5 ------

47 |44 |55 |16 |60 |
109 |72 |78 |35 |14 |
111 |61 |81 |105 |122 |
100 |18 |27 |77 |125 |
54 |66 |73 |124 |98 |
```

Nilai Objective Function Awal: 7570	Nilai Objective Function Akhir: 7112 (Best: 5520)

Plot Nilai Objective Function Minimum dan Rata-rata:

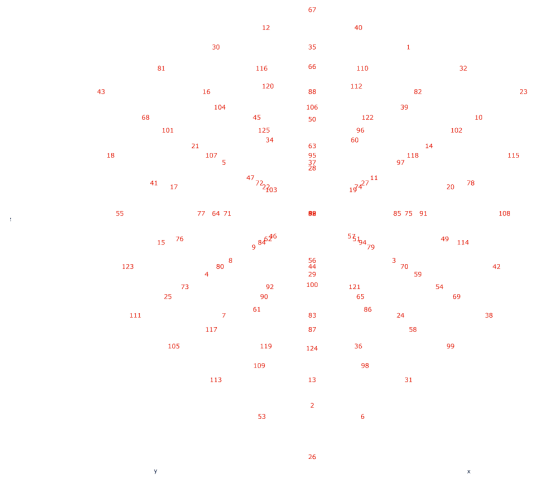


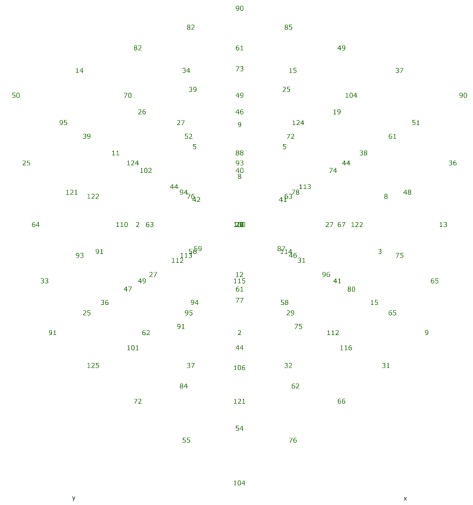
Nilai Objective Function Terendah dari Populasi Terakhir: 7112
Nilai Objective Function Rata-rata dari Populasi Terakhir: 7189.7
Nilai Objective Function Terbaik dari Seluruh Populasi: 5520
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 100
Durasi Proses Pencarian: 402 ms

2.2 - Jumlah Populasi 100

Percobaan 1

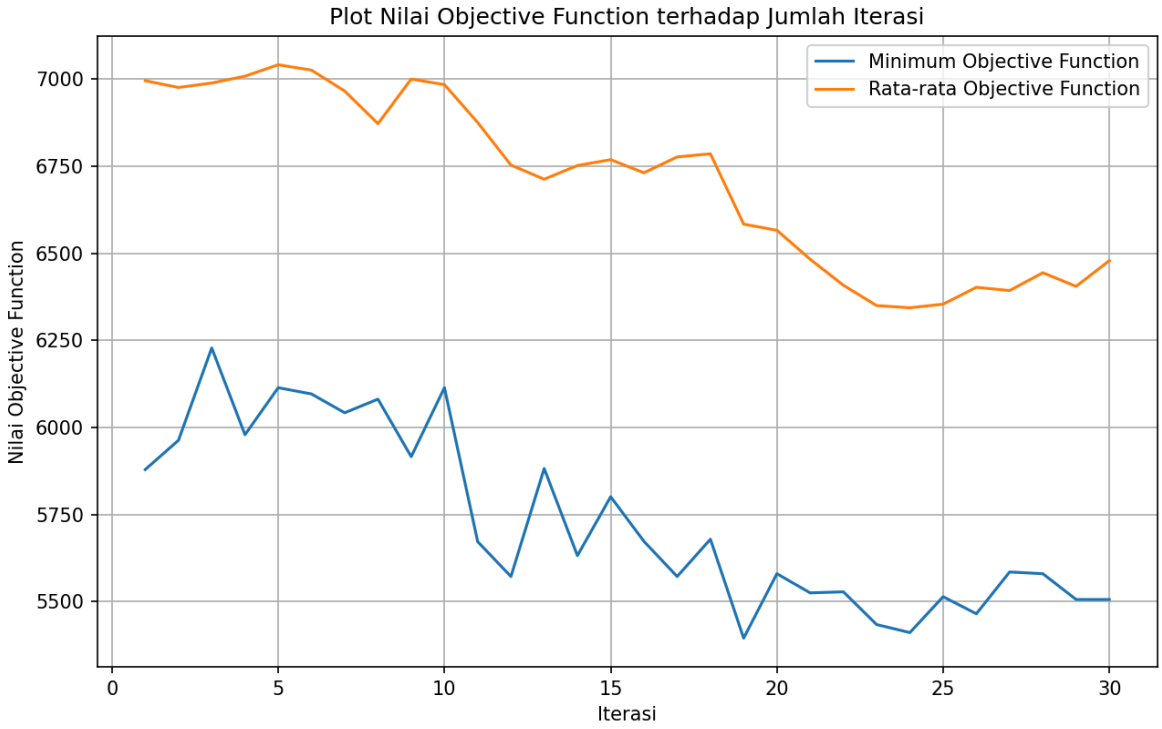
State Awal Cube	State Akhir Cube





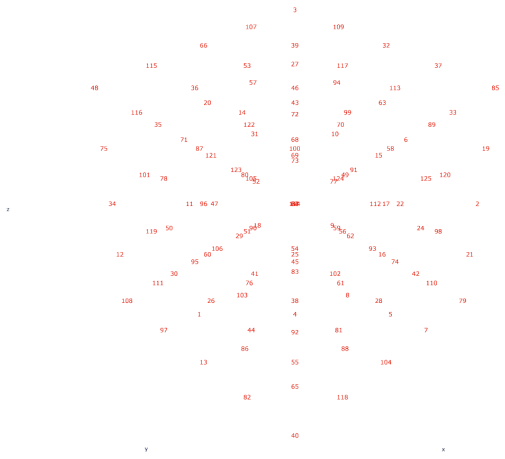
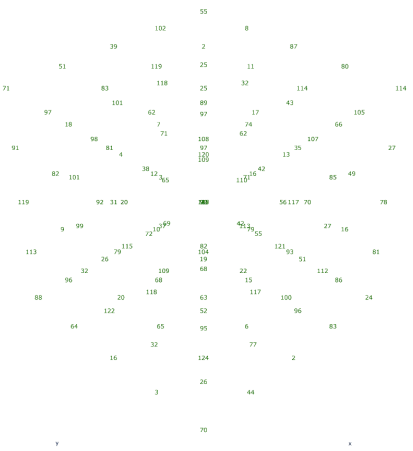
Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z
----- Sisi ke- 1 ------ 33 |28 |50 |66 |67 | 57 |19 |60 |112 |40 | 3 |85 |97 |39 |1 | 54 |49 |20 |102 |32 | 38 |42 |108 |115 |23 | ----- Sisi ke- 2 ------ 46 |103 |34 |120 |12 | 56 |52 |37 |106 |35 | 121 |51 |74 |96 |110 | 24 |70 |75 |118 |82 | 99 |69 |114 |78 |10 | ----- Sisi ke- 3 ------ 8 |71 |5 |104 |30 | 92 |62 |22 |125 |116 | 83 |44 |48 |95 |88 | 36 |65 |94 |27 |122 | 31 |58 |59 |91 |14 | ----- Sisi ke- 4 ------ 73 |76 |17 |101 |81 | 7 |80 |64 |107 |16 | 119 |90 |84 |72 |45 | 13 |87 |29 |93 |63 | 6 |98 |86 |79 |11 | ----- Sisi ke- 5 ------ 111 |123 |55 |18 |43 | 105 |25 |15 |41 |68 | 113 |117 |4 |77 |21 | 53 |109 |61 |9 |47 | 26 |2 |124 |100 |89 |	----- Sisi ke- 1 ------ 33 |57 |3 |54 |38 | 46 |56 |121 |24 |99 | 8 |92 |83 |36 |31 | 73 |7 |119 |13 |6 | 111 |105 |113 |53 |26 | ----- Sisi ke- 2 ------ 28 |19 |85 |49 |42 | 103 |52 |51 |70 |69 | 71 |62 |44 |65 |58 | 76 |80 |90 |87 |98 | 123 |25 |117 |109 |2 | ----- Sisi ke- 3 ------ 50 |60 |97 |20 |108 | 34 |37 |74 |75 |114 | 5 |22 |48 |94 |59 | 17 |64 |84 |29 |86 | 55 |15 |4 |61 |124 | ----- Sisi ke- 4 ------ 66 |112 |39 |102 |115 | 120 |106 |96 |118 |78 | 104 |125 |95 |27 |91 | 101 |107 |72 |93 |79 | 18 |41 |77 |9 |100 | ----- Sisi ke- 5 ------ 67 |40 |1 |32 |23 | 12 |35 |110 |82 |10 | 30 |116 |88 |122 |14 | 81 |16 |45 |63 |11 | 43 |68 |21 |47 |89 |	----- Sisi ke- 1 ------ 33 |46 |8 |73 |111 | 28 |103 |71 |76 |123 | 50 |34 |5 |17 |55 | 66 |120 |104 |101 |18 | 67 |12 |30 |81 |43 | ----- Sisi ke- 2 ------ 57 |56 |92 |7 |105 | 19 |52 |62 |80 |25 | 60 |37 |22 |64 |15 | 112 |106 |125 |107 |41 | 40 |35 |116 |16 |68 | ----- Sisi ke- 3 ------ 3 |121 |83 |119 |113 | 85 |51 |44 |90 |117 | 97 |74 |48 |84 |4 | 39 |96 |95 |72 |77 | 1 |110 |88 |45 |21 | ----- Sisi ke- 4 ------ 54 |24 |36 |13 |53 | 49 |70 |65 |87 |109 | 20 |75 |94 |29 |61 | 102 |118 |27 |93 |9 | 32 |82 |122 |63 |47 | ----- Sisi ke- 5 ------ 38 |99 |31 |6 |26 | 42 |69 |58 |98 |2 | 108 |114 |59 |86 |124 | 115 |78 |91 |79 |100 | 23 |10 |14 |11 |89 |	----- Sisi ke- 1 ------ 5 |70 |91 |111 |51 | 98 |124 |97 |25 |120 | 9 |22 |88 |21 |103 | 89 |58 |68 |33 |37 | 47 |65 |13 |99 |90 | ----- Sisi ke- 2 ------ 59 |42 |5 |22 |86 | 54 |29 |40 |46 |61 | 58 |114 |63 |72 |15 | 112 |41 |67 |44 |104 | 31 |65 |75 |48 |51 | ----- Sisi ke- 3 ------ 27 |63 |102 |26 |82 | 94 |56 |36 |39 |101 | 110 |53 |86 |36 |49 | 32 |29 |46 |78 |124 | 66 |116 |80 |122 |34 | ----- Sisi ke- 4 ------ 35 |14 |111 |113 |45 | 72 |42 |68 |62 |94 | 37 |46 |120 |105 |65 | 121 |114 |60 |83 |88 | 76 |62 |75 |31 |113 | ----- Sisi ke- 5 ------ 91 |33 |64 |25 |50 | 115 |14 |84 |38 |122 | 39 |23 |49 |95 |26 | 55 |84 |91 |69 |73 | 36 |1 |124 |103 |57 |	----- Sisi ke- 1 ------ 5 |98 |9 |89 |47 | 59 |54 |58 |112 |31 | 27 |94 |110 |32 |66 | 35 |72 |37 |121 |76 | 91 |115 |39 |55 |36 | ----- Sisi ke- 2 ------ 70 |124 |22 |58 |65 | 42 |29 |114 |41 |65 | 63 |56 |53 |29 |116 | 14 |42 |46 |114 |62 | 33 |14 |23 |84 |1 | ----- Sisi ke- 3 ------ 91 |97 |88 |68 |13 | 5 |40 |63 |67 |75 | 102 |36 |86 |46 |80 | 111 |68 |120 |60 |75 | 64 |84 |49 |91 |124 | ----- Sisi ke- 4 ------ 111 |25 |21 |33 |99 | 22 |46 |72 |44 |48 | 26 |39 |36 |78 |122 | 113 |62 |105 |83 |31 | 25 |38 |95 |69 |103 | ----- Sisi ke- 5 ------ 51 |120 |103 |37 |90 | 86 |61 |15 |104 |51 | 82 |101 |49 |124 |34 | 45 |94 |65 |88 |113 | 50 |122 |26 |73 |57 |	----- Sisi ke- 1 ------ 5 |59 |27 |35 |91 | 70 |42 |63 |14 |33 | 91 |5 |102 |111 |64 | 111 |22 |26 |113 |25 | 51 |86 |82 |45 |50 | ----- Sisi ke- 2 ------ 98 |54 |94 |72 |115 | 124 |29 |56 |42 |14 | 97 |40 |36 |68 |84 | 25 |46 |39 |62 |38 | 120 |61 |101 |94 |122 | ----- Sisi ke- 3 ------ 9 |58 |110 |37 |39 | 22 |114 |53 |46 |23 | 88 |63 |86 |120 |49 | 21 |72 |36 |105 |95 | 103 |15 |49 |65 |26 | ----- Sisi ke- 4 ------ 89 |112 |32 |121 |55 | 58 |41 |29 |114 |84 | 68 |67 |46 |60 |91 | 33 |44 |78 |83 |69 | 37 |104 |124 |88 |73 | ----- Sisi ke- 5 ------ 47 |31 |66 |76 |36 | 65 |65 |116 |62 |1 | 13 |75 |80 |75 |124 | 99 |48 |122 |31 |103 | 90 |51 |34 |113 |57 |
Nilai Objective Function Awal: 7293			Nilai Objective Function Akhir: 5506(Best: 5395)		

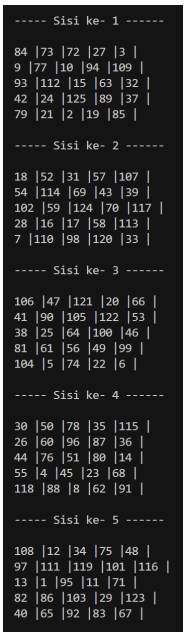
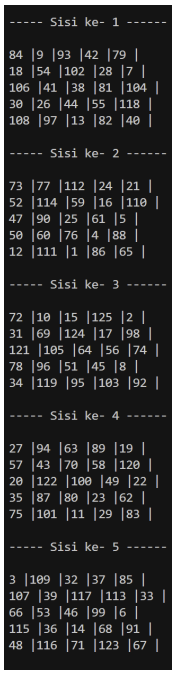
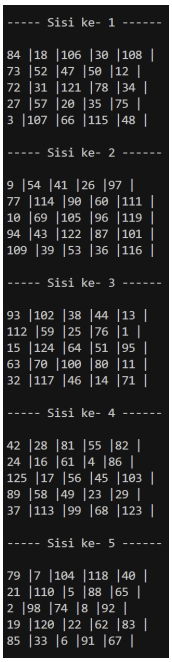
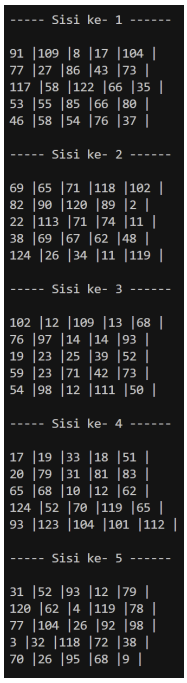
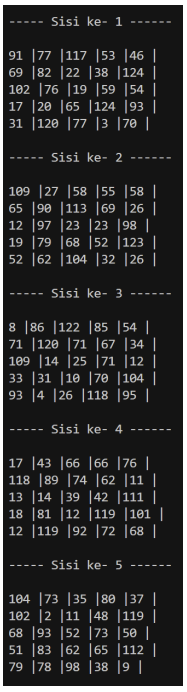
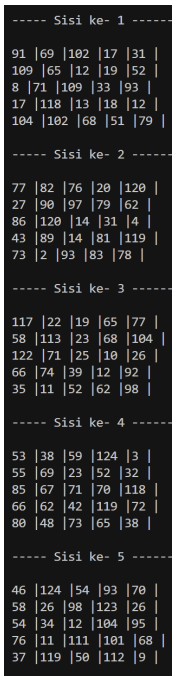
Plot Nilai Objective Function Minimum dan Rata-rata:



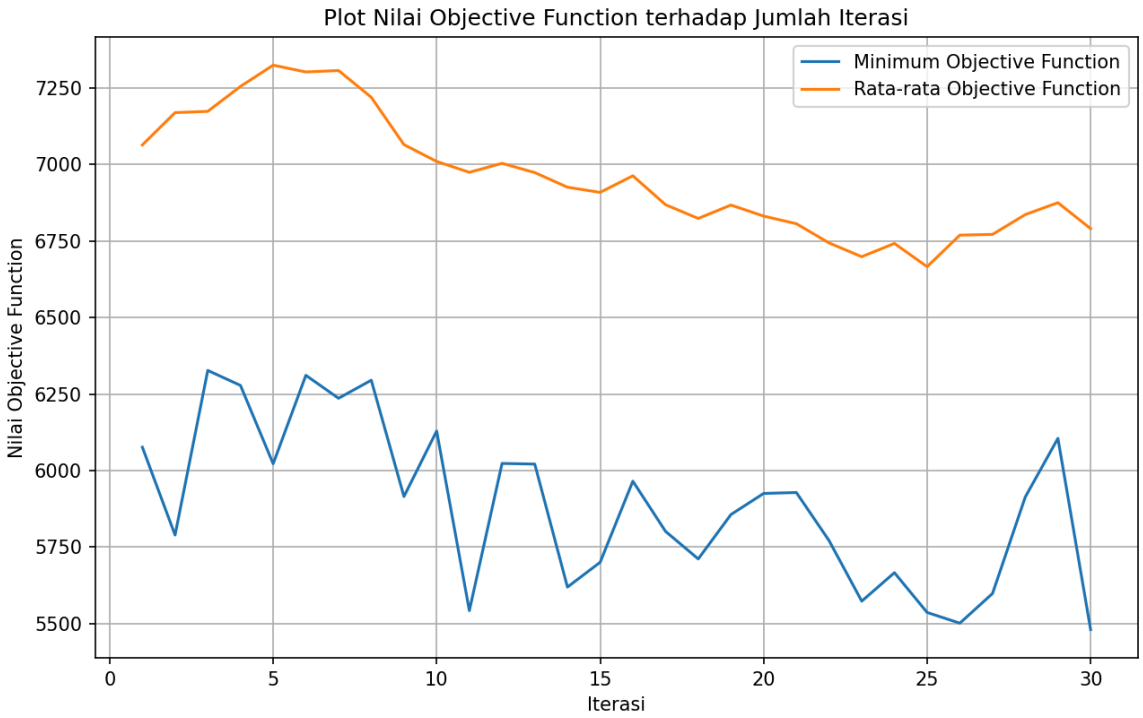
Nilai Objective Function Terendah dari Populasi Terakhir: 5506
Nilai Objective Function Rata-rata dari Populasi Terakhir: 6478.75
Nilai Objective Function Terbaik dari Seluruh Populasi: 5395
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 30
Durasi Proses Pencarian: 1.0425224304199219 ms

Percobaan 2

State Awal Cube	State Akhir Cube
	

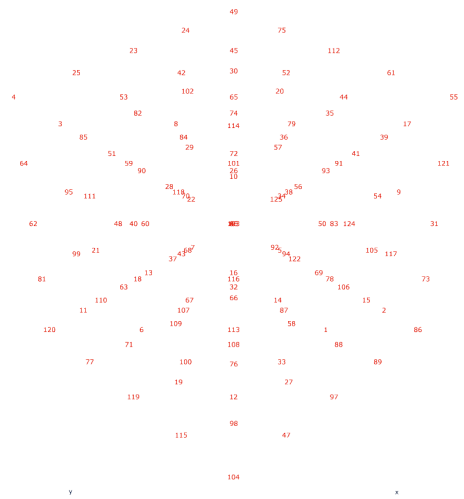
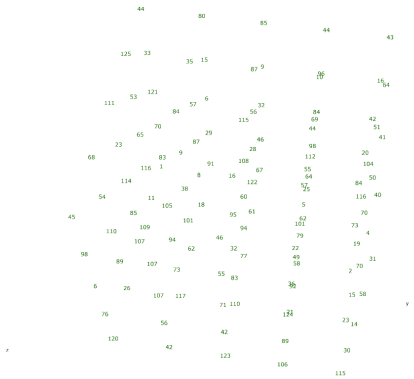
Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z
					
Nilai Objective Function Awal: 6360			Nilai Objective Function Akhir: 5480(Best: 5480)		

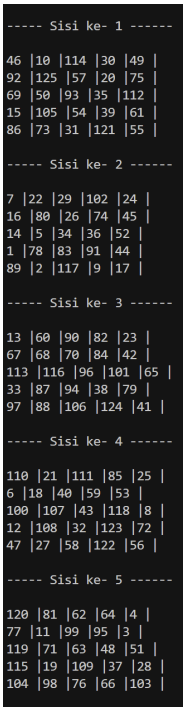
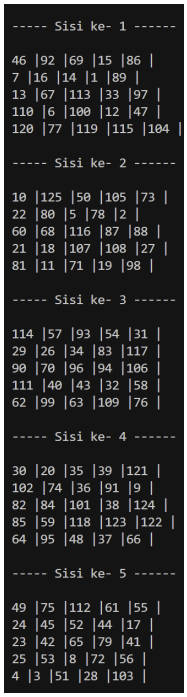
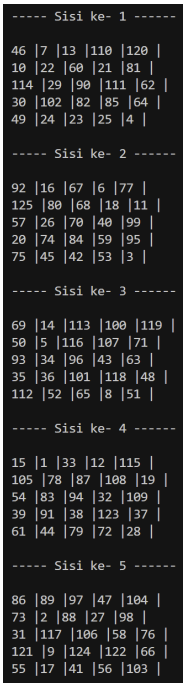
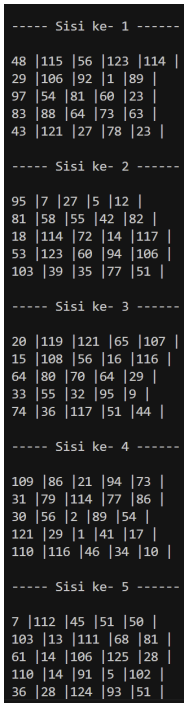
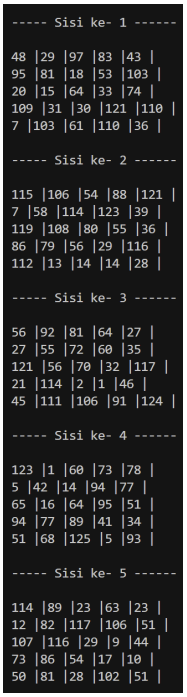
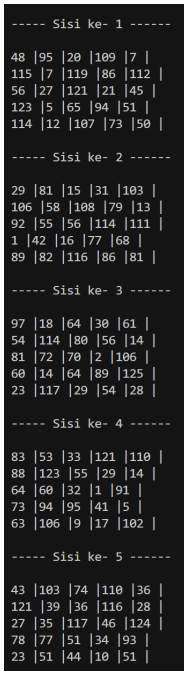
Plot Nilai Objective Function Minimum dan Rata-rata:



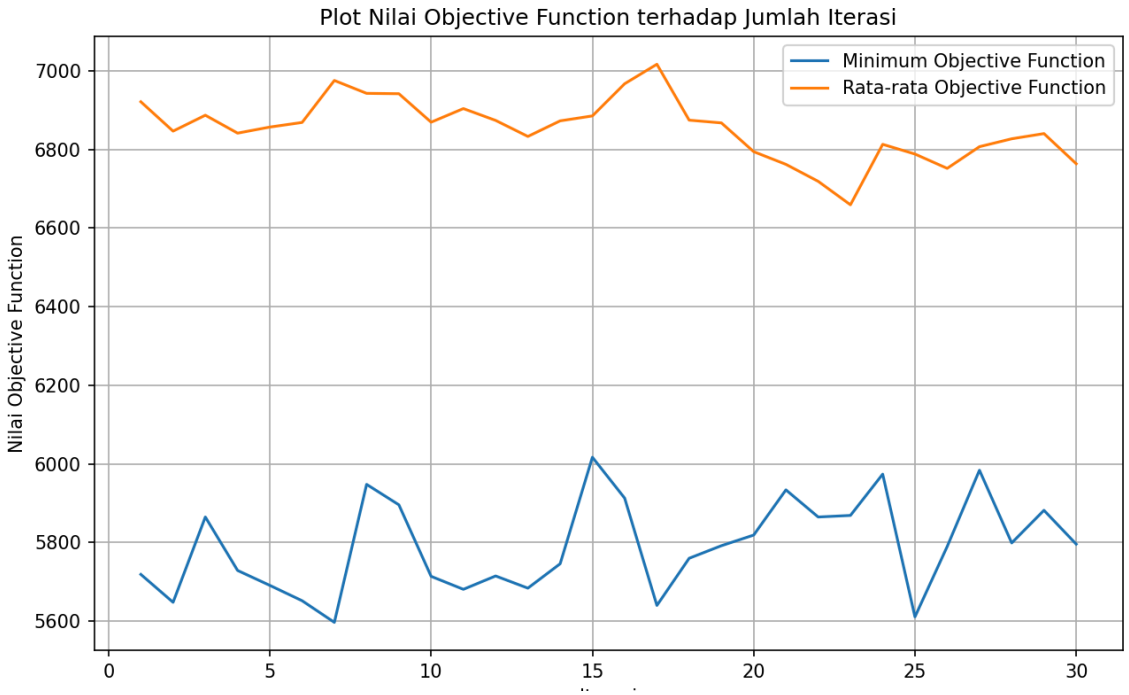
Nilai Objective Function Terendah dari Populasi Terakhir: 5480
Nilai Objective Function Rata-rata dari Populasi Terakhir: 6790.36
Nilai Objective Function Terbaik dari Seluruh Populasi: 5480
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 30
Durasi Proses Pencarian: 1.0670976638793945 ms

Percobaan 3

State Awal Cube	State Akhir Cube
	

Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z
					
Nilai Objective Function Awal: 6939			Nilai Objective Function Akhir: 5796(Best: 5597)		

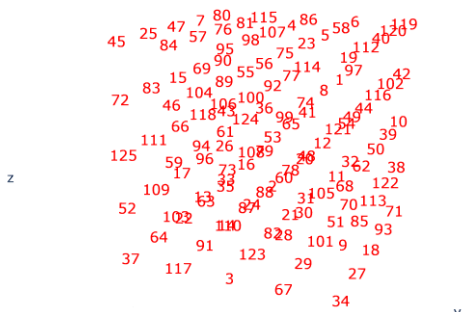
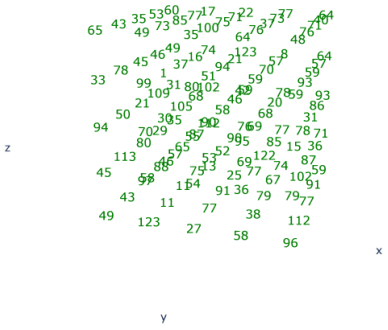
Plot Nilai Objective Function Minimum dan Rata-rata:



Nilai Objective Function Terendah dari Populasi Terakhir: 5796
Nilai Objective Function Rata-rata dari Populasi Terakhir: 6763.69
Nilai Objective Function Terbaik dari Seluruh Populasi: 5597
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 30
Durasi Proses Pencarian: 1.054060935974121 ms

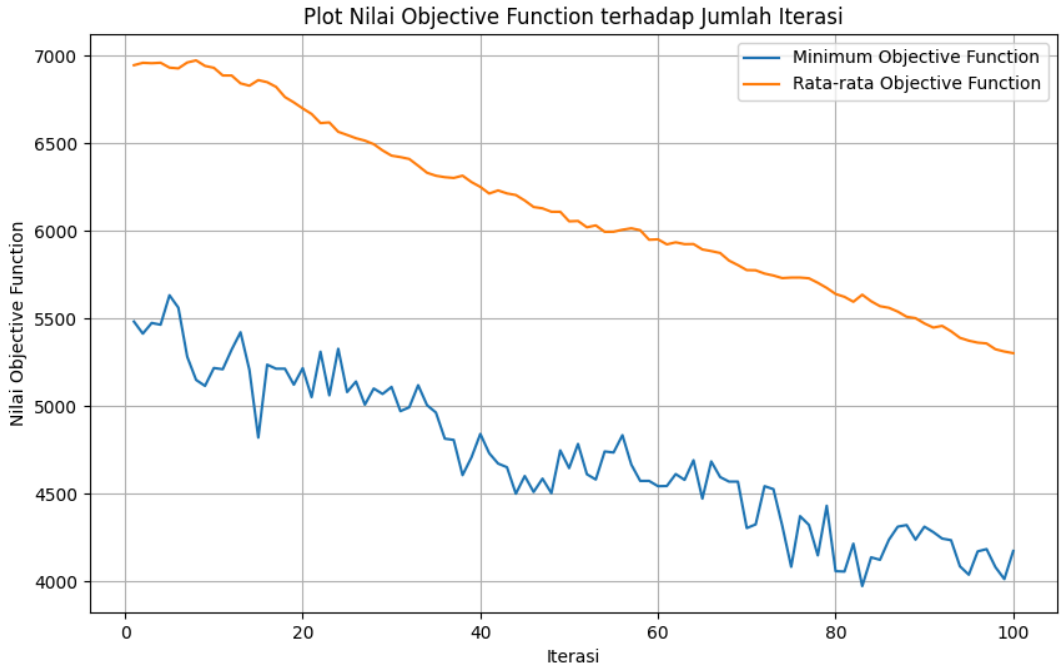
2.3 - Jumlah Populasi 1000

Percobaan 1

State Awal Cube			State Akhir Cube		
					
Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z

Sisi ke sumbu x ----- Sisi ke- 1 ------ 37 |52 |125 |72 |45 | 64 |109 |111 |83 |25 | 22 |17 |66 |15 |47 | 63 |96 |118 |69 |7 | 35 |26 |106 |90 |80 | ----- Sisi ke- 2 ------ 117 |103 |59 |46 |84 | 91 |13 |94 |104 |57 | 14 |33 |61 |89 |76 | 87 |16 |124 |55 |81 | 88 |79 |36 |56 |115 | ----- Sisi ke- 3 ------ 3 |110 |73 |43 |95 | 123 |24 |108 |100 |98 | 82 |2 |53 |92 |107 | 21 |78 |65 |77 |4 | 31 |48 |41 |114 |86 | ----- Sisi ke- 4 ------ 67 |28 |60 |99 |75 | 29 |30 |20 |74 |23 | 101 |105 |12 |8 |5 | 51 |11 |121 |1 |58 | 70 |32 |49 |97 |6 | ----- Sisi ke- 5 ------ 34 |9 |68 |54 |19 | 27 |85 |62 |44 |112 | 18 |113 |50 |116 |40 | 93 |122 |39 |102 |120 | 71 |38 |10 |42 |119 |	Sisi ke sumbu y ----- Sisi ke- 1 ------ 37 |64 |22 |63 |35 | 117 |91 |14 |87 |88 | 3 |123 |82 |21 |31 | 67 |29 |101 |51 |70 | 34 |27 |18 |93 |71 | ----- Sisi ke- 2 ------ 52 |109 |17 |96 |26 | 103 |13 |33 |16 |79 | 110 |24 |2 |78 |48 | 28 |30 |105 |11 |32 | 9 |85 |113 |122 |38 | ----- Sisi ke- 3 ------ 125 |111 |66 |118 |106 | 59 |94 |61 |124 |36 | 73 |108 |53 |65 |41 | 60 |20 |12 |121 |49 | 68 |62 |50 |39 |10 | ----- Sisi ke- 4 ------ 72 |83 |15 |69 |90 | 46 |104 |89 |55 |56 | 43 |100 |92 |77 |114 | 99 |74 |8 |1 |97 | 54 |44 |116 |102 |42 | ----- Sisi ke- 5 ------ 45 |25 |47 |7 |80 | 84 |57 |76 |81 |115 | 95 |98 |107 |4 |86 | 75 |23 |5 |58 |6 | 19 |112 |40 |120 |119 |	Sisi ke sumbu z ----- Sisi ke- 1 ------ 37 |117 |3 |67 |34 | 52 |103 |110 |28 |9 | 125 |59 |73 |60 |68 | 72 |46 |43 |99 |54 | 45 |84 |95 |75 |19 | ----- Sisi ke- 2 ------ 64 |91 |123 |29 |27 | 109 |13 |24 |30 |85 | 111 |94 |108 |20 |62 | 83 |104 |100 |74 |44 | 25 |57 |98 |23 |112 | ----- Sisi ke- 3 ------ 22 |14 |82 |101 |18 | 17 |33 |2 |105 |113 | 66 |61 |53 |12 |50 | 15 |89 |92 |8 |116 | 47 |76 |107 |5 |40 | ----- Sisi ke- 4 ------ 63 |87 |21 |51 |93 | 96 |16 |78 |11 |122 | 118 |124 |65 |121 |39 | 69 |55 |77 |1 |102 | 7 |81 |4 |58 |120 | ----- Sisi ke- 5 ------ 35 |88 |31 |70 |71 | 26 |79 |48 |32 |38 | 106 |36 |41 |49 |10 | 90 |56 |114 |97 |42 | 80 |115 |86 |6 |119 |	Sisi ke sumbu x ----- Sisi ke- 1 ------ 57 |35 |31 |49 |60 | 53 |112 |102 |74 |17 | 69 |76 |59 |123 |22 | 74 |77 |78 |8 |77 | 59 |71 |93 |64 |64 | ----- Sisi ke- 2 ------ 88 |29 |109 |46 |53 | 75 |87 |68 |16 |77 | 25 |90 |46 |21 |71 | 67 |85 |20 |57 |73 | 91 |36 |86 |57 |40 | ----- Sisi ke- 3 ------ 97 |80 |21 |45 |35 | 11 |65 |105 |37 |85 | 91 |52 |58 |94 |75 | 79 |122 |68 |70 |37 | 77 |87 |31 |59 |71 | ----- Sisi ke- 4 ------ 43 |113 |50 |78 |43 | 11 |46 |30 |1 |73 | 77 |13 |90 |51 |100 | 38 |77 |69 |59 |76 | 112 |102 |78 |93 |76 | ----- Sisi ke- 5 ------ 49 |45 |94 |33 |65 | 123 |58 |70 |99 |49 | 27 |54 |55 |80 |35 | 58 |36 |95 |42 |64 | 96 |79 |15 |59 |48 |	Sisi ke sumbu y ----- Sisi ke- 1 ------ 57 |53 |69 |74 |59 | 88 |75 |25 |67 |91 | 97 |11 |91 |79 |77 | 43 |11 |77 |38 |112 | 49 |123 |27 |58 |96 | ----- Sisi ke- 2 ------ 35 |112 |76 |77 |71 | 29 |87 |90 |85 |36 | 80 |65 |52 |122 |87 | 113 |46 |13 |77 |102 | 45 |58 |54 |36 |79 | ----- Sisi ke- 3 ------ 31 |102 |59 |78 |93 | 109 |68 |46 |20 |86 | 21 |105 |58 |68 |31 | 50 |30 |90 |69 |78 | 94 |70 |55 |95 |15 | ----- Sisi ke- 4 ------ 49 |74 |123 |8 |64 | 46 |16 |21 |57 |57 | 45 |37 |94 |70 |59 | 78 |1 |51 |59 |93 | 33 |99 |80 |42 |59 | ----- Sisi ke- 5 ------ 60 |17 |22 |77 |64 | 53 |77 |71 |73 |40 | 35 |85 |75 |37 |71 | 43 |73 |100 |76 |76 | 65 |49 |35 |64 |48 |	Sisi ke sumbu z ----- Sisi ke- 1 ------ 57 |88 |97 |43 |49 | 35 |29 |80 |113 |45 | 31 |109 |21 |50 |94 | 49 |46 |45 |78 |33 | 60 |53 |35 |43 |65 | ----- Sisi ke- 2 ------ 53 |75 |11 |11 |123 | 112 |87 |65 |46 |58 | 102 |68 |105 |30 |70 | 74 |16 |37 |1 |99 | 17 |77 |85 |73 |49 | ----- Sisi ke- 3 ------ 69 |25 |91 |77 |27 | 76 |90 |52 |13 |54 | 59 |46 |58 |90 |55 | 123 |21 |94 |51 |80 | 22 |71 |75 |100 |35 | ----- Sisi ke- 4 ------ 74 |67 |79 |38 |58 | 77 |85 |122 |77 |36 | 78 |20 |68 |69 |95 | 8 |57 |70 |59 |42 | 77 |73 |37 |76 |64 | ----- Sisi ke- 5 ------ 59 |91 |77 |112 |96 | 71 |36 |87 |102 |79 | 93 |86 |31 |78 |15 | 64 |57 |59 |93 |59 | 64 |40 |71 |76 |48 |	
Nilai Objective Function Awal: 6820			Nilai Objective Function Akhir: 4172 (Best: 4121)		

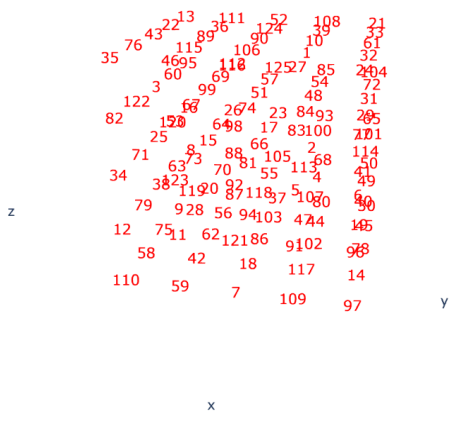
Plot Nilai Objective Function Minimum dan Rata-rata:



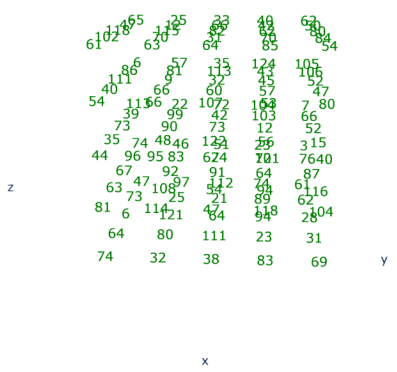
Nilai Objective Function Terendah dari Populasi Terakhir: 4173
Nilai Objective Function Rata-rata dari Populasi Terakhir: 5301.815
Nilai Objective Function Terbaik dari Seluruh Populasi: 3973
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 100
Durasi Proses Pencarian: 90367 ms

Percobaan 2

State Awal Cube



State Akhir Cube



Sumbu X

```
Sisi ke sumbu x


----- Sisi ke- 1 ------

30 |50 |65 |104 |21 |
45 |49 |101 |72 |33 |
78 |40 |114 |31 |61 |
14 |19 |41 |29 |32 |
97 |96 |6 |77 |24 |

----- Sisi ke- 2 ------

80 |68 |93 |85 |108 |
44 |4 |100 |54 |39 |
102 |107 |2 |48 |10 |
117 |47 |113 |84 |1 |
109 |91 |5 |83 |27 |

----- Sisi ke- 3 ------

37 |105 |23 |125 |52 |
103 |55 |17 |57 |124 |
86 |118 |66 |51 |90 |
18 |94 |81 |74 |106 |
7 |121 |92 |98 |112 |

----- Sisi ke- 4 ------

87 |88 |26 |116 |111 |
56 |70 |64 |69 |36 |
62 |20 |15 |99 |89 |
42 |28 |73 |67 |115 |
59 |11 |123 |120 |46 |

----- Sisi ke- 5 ------

119 |8 |16 |95 |13 |
9 |63 |53 |60 |22 |
75 |38 |25 |3 |43 |
58 |79 |71 |122 |76 |
110 |12 |34 |82 |35 |
```

Sumbu Y

```
Sisi ke sumbu y


----- Sisi ke- 1 ------

30 |45 |78 |14 |97 |
80 |44 |102 |117 |109 |
37 |103 |86 |18 |7 |
87 |56 |62 |42 |59 |
119 |9 |75 |58 |110 |

----- Sisi ke- 2 ------

50 |49 |40 |19 |96 |
68 |4 |107 |47 |91 |
105 |55 |118 |94 |121 |
88 |70 |20 |28 |11 |
8 |63 |38 |79 |12 |

----- Sisi ke- 3 ------

65 |101 |114 |41 |6 |
93 |100 |2 |113 |5 |
23 |17 |66 |81 |92 |
26 |64 |15 |73 |123 |
16 |53 |25 |71 |34 |

----- Sisi ke- 4 ------

104 |72 |31 |29 |77 |
85 |54 |48 |84 |83 |
125 |57 |51 |74 |98 |
116 |69 |99 |67 |120 |
95 |60 |3 |122 |82 |

----- Sisi ke- 5 ------

21 |33 |61 |32 |24 |
108 |39 |10 |1 |27 |
52 |124 |90 |106 |112 |
111 |36 |89 |115 |46 |
13 |22 |43 |76 |35 |
```

Sumbu Z

```
Sisi ke sumbu z


----- Sisi ke- 1 ------

30 |80 |37 |87 |119 |
50 |68 |105 |88 |8 |
65 |93 |23 |26 |16 |
104 |85 |125 |116 |95 |
21 |108 |52 |111 |13 |

----- Sisi ke- 2 ------

45 |44 |103 |56 |9 |
49 |4 |55 |70 |63 |
101 |100 |17 |64 |53 |
72 |54 |57 |69 |60 |
33 |39 |124 |36 |22 |

----- Sisi ke- 3 ------

78 |102 |86 |62 |75 |
40 |107 |118 |20 |38 |
114 |2 |66 |15 |25 |
31 |48 |51 |99 |3 |
61 |10 |90 |89 |43 |

----- Sisi ke- 4 ------

14 |117 |18 |42 |58 |
19 |47 |94 |28 |79 |
41 |113 |81 |73 |71 |
29 |84 |74 |67 |122 |
32 |1 |106 |115 |76 |

----- Sisi ke- 5 ------

97 |109 |7 |59 |110 |
96 |91 |121 |11 |12 |
6 |5 |92 |123 |34 |
77 |83 |98 |120 |82 |
24 |27 |112 |46 |35 |
```

Sumbu X

```
Sisi ke sumbu x


----- Sisi ke- 1 ------

86 |54 |35 |21 |57 |
93 |78 |92 |37 |50 |
73 |59 |52 |43 |38 |
14 |124 |30 |81 |72 |
75 |57 |54 |102 |62 |

----- Sisi ke- 2 ------

18 |56 |53 |103 |40 |
108 |83 |97 |25 |116 |
47 |54 |92 |60 |83 |
72 |64 |10 |102 |15 |
98 |64 |56 |53 |51 |

----- Sisi ke- 3 ------

77 |80 |57 |10 |33 |
21 |24 |42 |113 |65 |
105 |88 |60 |36 |40 |
99 |28 |83 |98 |89 |
2 |121 |72 |57 |94 |

----- Sisi ke- 4 ------

76 |3 |84 |110 |50 |
25 |60 |79 |70 |23 |
86 |57 |53 |74 |89 |
90 |8 |77 |66 |93 |
63 |55 |61 |66 |63 |

----- Sisi ke- 5 ------

47 |74 |113 |6 |65 |
73 |96 |16 |89 |47 |
62 |60 |79 |111 |118 |
64 |63 |35 |40 |102 |
74 |42 |25 |121 |17 |
```

Sumbu Y

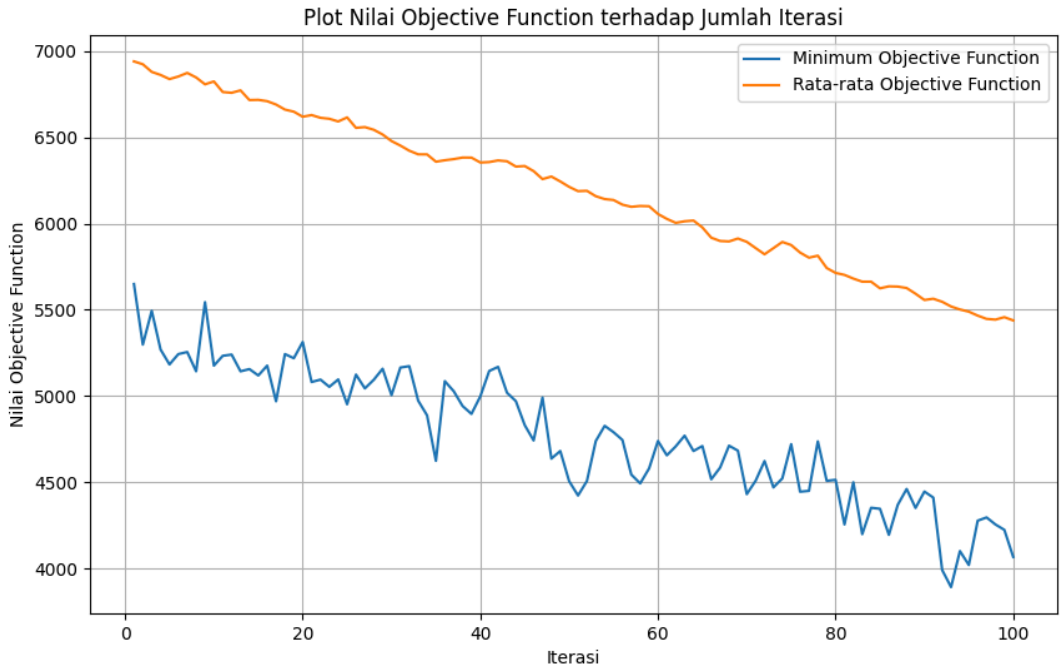
```
Sisi ke sumbu y


----- Sisi ke- 1 ------

86 |93 |73 |14 |75 |
18 |108 |47 |72 |98 |
77 |21 |105 |99 |2 |
76 |25 |86 |90 |63 |
47 |73 |62 |64 |74 |

----- Sisi ke- 2 ------

54 |78 |59 |124 |57 |
56 |83 |54 |64 |64 |
80 |24 |88 |28 |121 |
3 |60 |57 |8 |55 |
74 |96 |60 |63 |42 |

----- Sisi ke- 3 ------

35 |92 |52 |30 |54 |
53 |97 |92 |10 |56 |
57 |42 |60 |83 |72 |
84 |79 |53 |77 |61 |
113 |16 |79 |35 |25 |

----- Sisi ke- 4 ------

21 |37 |43 |81 |102 |
103 |25 |60 |102 |53 |
10 |113 |36 |98 |57 |
110 |70 |74 |66 |66 |
6 |89 |111 |40 |121 |

----- Sisi ke- 5 ------

57 |50 |38 |72 |62 |
40 |116 |83 |15 |51 |
33 |65 |40 |89 |94 |
50 |23 |89 |93 |63 |
65 |47 |118 |102 |17 |
```

Sumbu Z

```
Sisi ke sumbu z


----- Sisi ke- 1 ------

86 |18 |77 |76 |47 |
54 |56 |80 |3 |74 |
35 |53 |57 |84 |113 |
21 |103 |10 |110 |6 |
57 |40 |33 |50 |65 |

----- Sisi ke- 2 ------

93 |108 |21 |25 |73 |
78 |83 |24 |60 |96 |
92 |97 |42 |79 |16 |
37 |25 |113 |70 |89 |
50 |116 |65 |23 |47 |

----- Sisi ke- 3 ------

73 |47 |105 |86 |62 |
59 |54 |88 |57 |60 |
52 |92 |60 |53 |79 |
43 |60 |36 |74 |111 |
38 |83 |40 |89 |118 |

----- Sisi ke- 4 ------

14 |72 |99 |90 |64 |
124 |64 |28 |8 |63 |
30 |10 |83 |77 |35 |
81 |102 |98 |66 |40 |
72 |15 |89 |93 |102 |

----- Sisi ke- 5 ------

75 |98 |2 |63 |74 |
57 |64 |121 |55 |42 |
54 |56 |72 |61 |25 |
102 |53 |57 |66 |121 |
62 |51 |94 |63 |17 |
```

Nilai Objective Function Awal: 6895	Nilai Objective Function Akhir: 4067 (Best: 3892)

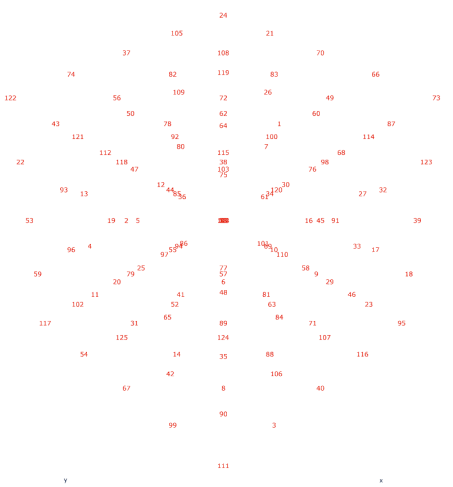
Plot Nilai Objective Function Minimum dan Rata-rata:

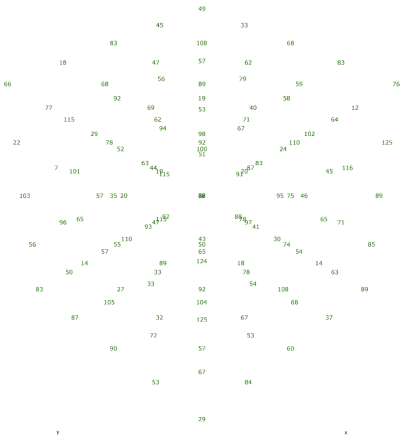


Nilai Objective Function Terendah dari Populasi Terakhir: 4067
Nilai Objective Function Rata-rata dari Populasi Terakhir: 5438.287
Nilai Objective Function Terbaik dari Seluruh Populasi: 2892
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 100
Durasi Proses Pencarian: 89006 ms

Percobaan 3

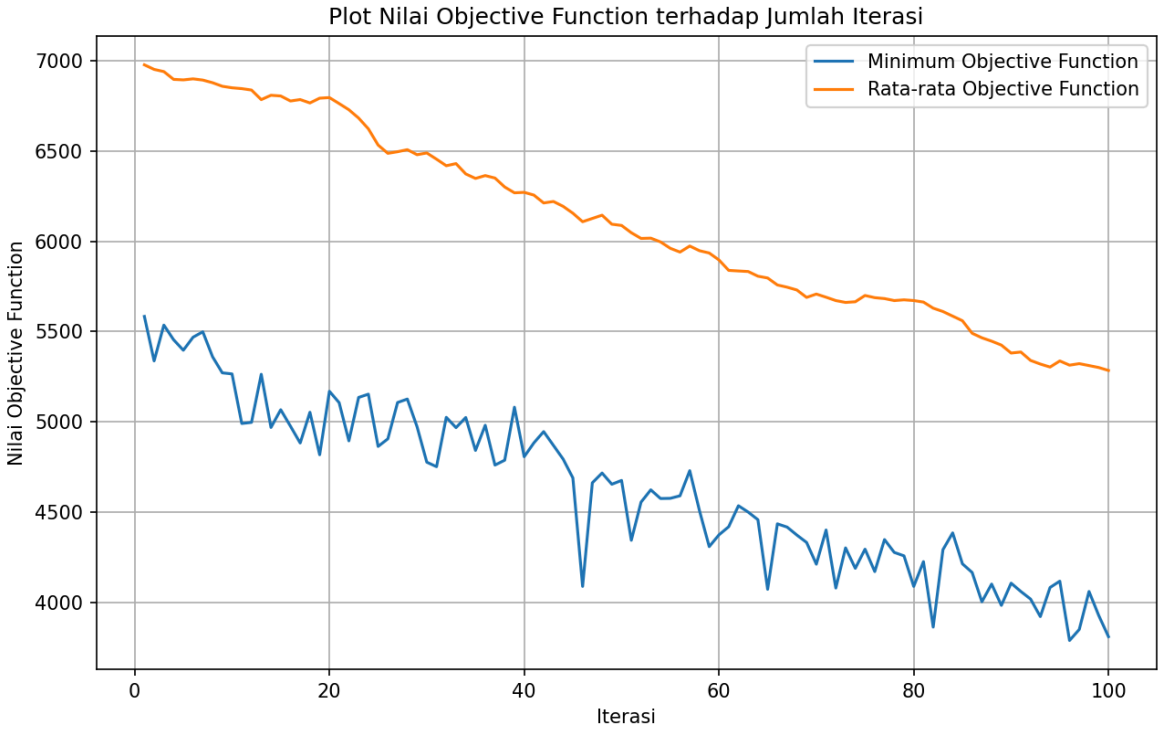
State Awal Cube	State Akhir Cube





Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z
----- Sisi ke- 1 ------ 51 |75 |64 |119 |24 | 101 |61 |7 |26 |21 | 58 |16 |76 |60 |70 | 46 |33 |27 |114 |66 | 95 |18 |39 |123 |73 | ----- Sisi ke- 2 ------ 86 |36 |80 |109 |105 | 77 |15 |103 |62 |108 | 81 |69 |34 |100 |83 | 71 |9 |45 |98 |49 | 116 |23 |17 |32 |87 | ----- Sisi ke- 3 ------ 25 |5 |47 |50 |37 | 41 |94 |85 |92 |82 | 89 |57 |113 |38 |72 | 88 |63 |10 |120 |1 | 40 |107 |29 |91 |68 | ----- Sisi ke- 4 ------ 11 |4 |13 |121 |74 | 31 |79 |2 |118 |56 | 14 |52 |55 |44 |78 | 8 |124 |6 |28 |115 | 3 |106 |84 |110 |30 | ----- Sisi ke- 5 ------ 117 |59 |53 |22 |122 | 54 |102 |96 |93 |43 | 67 |125 |20 |19 |112 | 99 |42 |65 |97 |12 | 111 |90 |35 |48 |104 |	----- Sisi ke- 1 ------ 51 |101 |58 |46 |95 | 86 |77 |81 |71 |116 | 25 |41 |89 |88 |40 | 11 |31 |14 |8 |3 | 117 |54 |67 |99 |111 | ----- Sisi ke- 2 ------ 75 |61 |16 |33 |18 | 36 |15 |69 |9 |23 | 5 |94 |57 |63 |107 | 4 |79 |52 |124 |106 | 59 |102 |125 |42 |90 | ----- Sisi ke- 3 ------ 64 |7 |76 |27 |39 | 80 |103 |34 |45 |17 | 47 |85 |113 |10 |29 | 13 |2 |55 |6 |84 | 53 |96 |20 |65 |35 | ----- Sisi ke- 4 ------ 119 |26 |60 |114 |123 | 109 |62 |100 |98 |32 | 50 |92 |38 |120 |91 | 121 |118 |44 |28 |110 | 22 |93 |19 |97 |48 | ----- Sisi ke- 5 ------ 24 |21 |70 |66 |73 | 105 |108 |83 |49 |87 | 37 |82 |72 |1 |68 | 74 |56 |78 |115 |30 | 122 |43 |112 |12 |104 |	----- Sisi ke- 1 ------ 51 |101 |58 |46 |95 | 86 |77 |81 |71 |116 | 25 |41 |89 |88 |40 | 11 |31 |14 |8 |3 | 117 |54 |67 |99 |111 | ----- Sisi ke- 2 ------ 75 |61 |16 |33 |18 | 36 |15 |69 |9 |23 | 5 |94 |57 |63 |107 | 4 |79 |52 |124 |106 | 59 |102 |125 |42 |90 | ----- Sisi ke- 3 ------ 64 |7 |76 |27 |39 | 80 |103 |34 |45 |17 | 47 |85 |113 |10 |29 | 13 |2 |55 |6 |84 | 53 |96 |20 |65 |35 | ----- Sisi ke- 4 ------ 119 |26 |60 |114 |123 | 109 |62 |100 |98 |32 | 50 |92 |38 |120 |91 | 121 |118 |44 |28 |110 | 22 |93 |19 |97 |48 | ----- Sisi ke- 5 ------ 24 |21 |70 |66 |73 | 105 |108 |83 |49 |87 | 37 |82 |72 |1 |68 | 74 |56 |78 |115 |30 | 122 |43 |112 |12 |104 |	----- Sisi ke- 1 ------ 26 |64 |53 |56 |49 | 88 |91 |67 |79 |54 | 30 |95 |24 |58 |116 | 83 |50 |75 |97 |16 | 95 |85 |89 |33 |74 | ----- Sisi ke- 2 ------ 92 |112 |45 |77 |94 | 39 |50 |82 |71 |108 | 30 |77 |107 |48 |3 | 68 |46 |34 |88 |72 | 41 |100 |76 |78 |19 | ----- Sisi ke- 3 ------ 53 |100 |49 |83 |29 | 100 |41 |46 |11 |105 | 59 |74 |66 |49 |60 | 53 |48 |49 |87 |40 | 47 |68 |54 |46 |100 | ----- Sisi ke- 4 ------ 23 |30 |96 |62 |77 | 98 |64 |9 |109 |41 | 40 |1 |29 |95 |101 | 43 |97 |118 |56 |1 | 37 |64 |61 |41 |113 | ----- Sisi ke- 5 ------ 85 |58 |100 |38 |84 | 87 |50 |96 |60 |77 | 82 |43 |36 |82 |29 | 49 |72 |33 |83 |63 | 28 |40 |117 |88 |45 |	----- Sisi ke- 1 ------ 26 |88 |30 |83 |95 | 92 |39 |30 |68 |41 | 53 |100 |59 |53 |47 | 23 |98 |40 |43 |37 | 85 |87 |82 |49 |28 | ----- Sisi ke- 2 ------ 64 |91 |95 |50 |85 | 112 |50 |77 |46 |100 | 100 |41 |74 |48 |68 | 30 |64 |1 |97 |64 | 58 |50 |43 |72 |40 | ----- Sisi ke- 3 ------ 53 |67 |24 |75 |89 | 45 |82 |107 |34 |76 | 49 |46 |66 |49 |54 | 96 |9 |29 |118 |61 | 100 |96 |36 |33 |117 | ----- Sisi ke- 4 ------ 56 |79 |58 |97 |33 | 77 |71 |48 |88 |78 | 83 |11 |49 |87 |46 | 62 |109 |95 |56 |41 | 38 |60 |82 |83 |88 | ----- Sisi ke- 5 ------ 49 |54 |116 |16 |74 | 94 |108 |3 |72 |19 | 29 |105 |60 |40 |100 | 77 |41 |101 |1 |113 | 84 |77 |29 |63 |45 |	----- Sisi ke- 1 ------ 26 |92 |53 |23 |85 | 64 |112 |100 |30 |58 | 53 |45 |49 |96 |100 | 56 |77 |83 |62 |38 | 49 |94 |29 |77 |84 | ----- Sisi ke- 2 ------ 88 |39 |100 |98 |87 | 91 |50 |41 |64 |50 | 67 |82 |46 |9 |96 | 79 |71 |11 |109 |60 | 54 |108 |105 |41 |77 | ----- Sisi ke- 3 ------ 30 |30 |59 |40 |82 | 95 |77 |74 |1 |43 | 24 |107 |66 |29 |36 | 58 |48 |49 |95 |82 | 116 |3 |60 |101 |29 | ----- Sisi ke- 4 ------ 83 |68 |53 |43 |49 | 50 |46 |48 |97 |72 | 75 |34 |49 |118 |33 | 97 |88 |87 |56 |83 | 16 |72 |40 |1 |63 | ----- Sisi ke- 5 ------ 95 |41 |47 |37 |28 | 85 |100 |68 |64 |40 | 89 |76 |54 |61 |117 | 33 |78 |46 |41 |88 | 74 |19 |100 |113 |45 |
Nilai Objective Function Awal: 7256			Nilai Objective Function Akhir: 3813(Best: 3792)		

Plot Nilai Objective Function Minimum dan Rata-rata:



Nilai Objective Function Terendah dari Populasi Terakhir: 3813
Nilai Objective Function Rata-rata dari Populasi Terakhir: 5285.038
Nilai Objective Function Terbaik dari Seluruh Populasi: 3792
Banyak Iterasi yang Dilakukan: 100
Durasi Proses Pencarian: 88.065908432006836 ms

III.2 Analisis

1. Steepest Ascent Hill-climbing

Algoritma *Steepest Ascent Hill-climbing* ini bekerja dengan membandingkan *state*-nya sekarang dengan *neighbor state* disekitarnya, dan hanya akan berpindah *state* ketika *objective function* dari *state* tersebut lebih baik daripada *state*-nya sekarang. Oleh karena itu, jumlah yang diperlukan untuk mencapai *objective function* seringkali bermacam-macam dikarenakan *state* awal yang berbeda. Algoritma ini juga lebih sering mencapai *local optima* karena ketika disekitarnya tidak ada lagi *state* yang lebih baik nilainya, maka algoritma ini akan berhenti bekerja. Sehingga akan sulit untuk menemukan *global optima* untuk fungsi yang kompleks dan memiliki banyak *local optima*. Oleh karena itu, dibandingkan dengan algoritma lain yang memiliki cara menghindari terjebak pada *local optima*, algoritma ini kurang optimal untuk digunakan.

Jika dibandingkan dengan algoritma *hill-climbing* lainnya, durasi pencarian *steepest ascent* cenderung lebih cepat dibandingkan dengan *sideways move* dan *random restart* karena

steepest ascent akan langsung berhenti ketika disekitarnya tidak ada lagi *state* dengan nilai lebih tinggi. Untuk algoritma lain, tergantung dengan banyaknya iterasi / suhu / keturunan yang diinginkan, durasi pencarian dapat beragam. Hasil akhir dari algoritma ini akan selalu konsisten jika *state* awal kubus sama, namun karena *state* awal kubus acak, durasi dan *objective function* yang didapatkan juga beragam. Dari eksperimen yang dilakukan, algoritma ini bekerja cukup baik dengan rata-rata *objective function* sekitar +-600 (nilai maks *objective function* = 0).

2. Hill-climbing with Sideways Move

Seperti algoritma *Steepest Ascent Hill-climbing,* algoritma *sideways move* bekerja dengan membandingkan *state*-nya sekarang dengan *neighbor state* disekitarnya, dan akan berpindah *state* ketika *objective function* dari *state* tersebut lebih baik daripada *state*-nya sekarang, dengan tambahan kemampuan untuk pindah ke *state* yang memiliki *objective function* sama. Sehingga jika dibandingkan dengan *steepest ascent* algoritma ini mempunyai cara untuk menghindari jebakan *local optima* dengan melakukan *sideways move*, dengan begitu, kemungkinan mencapai *global optima* akan lebih besar, walau tetap ada batasan dalam eksplorasi karena hanya akan menerima solusi dengan nilai sama.

Jika dibandingkan dengan algoritma *hill climbing* lainnya, durasi pencarian *sideways move* cenderung lebih lama dibandingkan *steepest ascent* karena *sideways move* tidak langsung berhenti ketika mencapai *local optima*. Algoritma ini diizinkan untuk bergerak pada *state* dengan nilai yang sama, hingga batas jumlah gerakan yang ditentukan, sebelum memutuskan untuk berhenti. Karena itu, durasi pencarian juga bergantung pada jumlah iterasi maksimal yang diizinkan untuk berpindah dalam level yang sama (*sideways*). Jika iterasi *sideways* dibatasi sedikit, waktu pencarian akan lebih cepat tetapi kemungkinan besar algoritma berhenti di *local optima*. Namun, jika batas iterasi *sideways* lebih besar, waktu pencarian akan bertambah, dan peluang mencapai solusi lebih optimal meningkat. Hasil akhir dari algoritma ini akan selalu konsisten jika *state* awal kubus sama, namun karena *state* awal kubus acak, durasi dan *objective function* yang didapatkan juga beragam. Dari eksperimen yang dilakukan, algoritma ini bekerja cukup baik dengan rata-rata *objective function* sekitar +-700 (nilai maks *objective function* = 0).

3. Random Restart Hill-climbing

Random Restart Hill Climbing memiliki cara kerja seperti *steepest ascent hill-climbing* pada awalnya, dengan perbedaan ketika algoritma ini mencapai *local optima* dan tidak ada state di sekitarnya dengan nilai yang lebih baik, algoritma akan melakukan restart dari *state* baru. Proses ini berulang hingga batas iterasi yang telah ditentukan atau hingga *objective function* = 0 tercapai, apabila algoritma ini tidak menemukan *global optima* sampai batas iterasi habis, maka akan memiliki *state* dengan *objective function* paling baik. *Random restart* dapat mendekati *global optima* lebih baik dibandingkan algoritma *steepest ascent* atau *sideways move*, karena memungkinkan algoritma untuk terus melakukan pencarian baru saat mencapai optimum lokal.

Jika dibandingkan dengan algoritma *hill climbing* lainnya, durasi pencarian *random restart* akan semakin lama seiring jumlah iterasi pengulangan yang diinginkan. Namun, semakin sering pengulangan dilakukan maka peluang untuk mendapatkan *state* terbaik semakin besar. Sayangnya, semakin banyak pengulangan dilakukan maka durasi pencarian juga kan bertambah. Dari eksperimen yang dilakukan, algoritma ini memberikan hasil yang memuaskan dengan rata-rata *objective function* sekitar +-500 (nilai maks *objective function* = 0).

4. Stochastic Hill-climbing

Stochastic Hill Climbing bekerja dengan memilih secara acak salah satu *neighbor state* dan berpindah ke *state* tersebut jika *objective function*-nya lebih tinggi. Dalam setiap iterasi, tidak semua *neighbor state* diperiksa untuk menemukan yang terbaik, tetapi dipilih secara acak. Sehingga algoritma ini dapat menghindari jebakan *local optima* dan mendekati *global optima* (faktor keberuntungan) karena tidak berfokus pada pencarian dengan nilai tertinggi di setiap langkah.

Untuk hasil pencarian dan durasi dari algoritma ini bergantung kepada jumlah iterasi yang ingin dilakukan. Semakin banyak iterasi yang dilakukan maka hasil pencariannya akan semakin baik, namun durasi pencarian tentunya akan meningkat. Kegunaan *Stochastic hill-climbing* sendiri adalah menawarkan durasi yang singkat dan hasil yang cukup baik, dapat dilihat pada eksperimen dimana algoritma ini hanya membutuhkan waktu sekitar 1 detik untuk menghasilkan solusi dengan *objective function* rata-rata +-1000.

5. Simulated Annealing

Hasil eksperimen dari algoritma *simulated annealing* sangatlah beragam, ada yang menghasilkan *objective function* kurang baik (4581), ada juga yang menghasilkan *objective function* memuaskan (534). Sehingga dapat kita lihat bahwa ada banyak faktor yang menentukan *objective function* yang akan dihasilkan algoritma ini. Seperti suhu awal dan koefisien penurunan suhu yang akan menentukan banyaknya iterasi yang akan dilakukan, juga batas probabilitas yang akan menentukan penerimaan *state* bernilai lebih rendah. Kedua hal itu bukan hanya mempengaruhi *objective function* tetapi juga durasi pencarian, karena semakin banyaknya iterasi yang dilakukan maka akan semakin lama juga durasi pencarian. Sehingga perlunya disesuaikan konfigurasi input pada algoritma untuk mencapai hasil yang diinginkan.

6. Genetic Algorithm

Hasil eksperimen dari algoritma *genetic algorithm* sangat bergantung dari parameter yang dimiliinya yaitu jumlah populasi dan jumlah iterasi maksimal. Jumlah populasi mempengaruhi keragaman *parent* yang akan berdampak pada pembentukan *child*. Populasi yang terbatas akan menyebabkan kemungkinan individu sama terpilih dalam *spin wheel* meningkat. Jika individu sama terpilih menjadi *parent* dan jika individu tersebut terpilih untuk melakukan *crossover*, maka *child* yang dihasilkan akan sama dengan *parentnya* dan seterusnya untuk iterasi berikutnya.

Namun dengan mutasi, meski dengan peluang yang sangat kecil, hal tersebut daapt diatasi sedikit dengan melakukan pertukaran secara acak.

Jumlah Iterasi memengaruhi pencarian nilai objektif. Jika jumlah iterasi tidak diiringi dengan keragaman populasi maka iterasi yang banyak pun akan menjadi tidak efektif karena setiap iterasi hanya mengulangi pemilihan individu yang sama. Namun, ketika populasi beragam, maka jumlah iterasi yang banyak akan meningkatkan peluang dalam mendapatkan nilai objektif yang lebih baik.

Secara keseluruhan algoritma ini merupakan algoritma yang lambat karena banyak proses yang harus dilalui dalam satu iterasi dan hasil akhir dari algoritma ini pun tidak pasti tergantung dari hasil *random*. Baik dari metode *crossover* maupun mutasi yang dilakukan, semuanya bergantung dari hasil pengacakan.

Perbandingan

1. Kedekatan Hasil Pencarian dengan Global Optima

Dari seluruh eksperimen yang dilakukan, kami mendapatkan bahwa algoritma *random restart hill climbing* memberikan nilai *objective function* paling mendekati 0, dengan rata-rata hasil *objective function* sekitar 500 (berdasarkan hasil plot), angka ini masih dapat ditingkatkan seiring naiknya jumlah iterasi pengulangan yang ingin dilakukan. Untuk algoritma dengan ketepatan paling rendah adalah *genetic algorithm,* dapat dilihat dari semua hasil eksperimen *genetic algorithm* memiliki *objective function* akhir sekitar 4000 sampai 5000, walaupun sudah memakan durasi yang lama dalam proses pencariannya. Terdapat juga algoritma *simulated annealing* yang memiliki hasil beragam sesuai dengan konfigurasi input yang diinginkan, yaitu berdasarkan banyaknya iterasi (menentukan suhu awal dan koefisien penurunan suhu) dan juga penentuan batas probabilitas.

2. Durasi Proses Pencarian

Untuk durasi proses pencarian tiap-tiap algoritma, Penghasil solusi dengan durasi tercepat pada eksperimen yang kami lakukan adalah algoritma *stochastic hill climbing* dengan durasi proses pencarian hanya sekitar 1 detik untuk 5000 kali iterasi. Disusul oleh *Steepest Ascent hill-climbing* dengan durasi proses pencarian rata-rata dibawah 100 detik. Alasan algoritma *Stochastic* memiliki durasi yang sangat singkat adalah karena algoritma ini tidak melakukan pencarian *best neighbor* seperti algoritma *hill climbing* lainnya, melainkan hanya melakukan pertukaran random dengan *neighbor* disekitarnya tanpa melihat nilai *neighbor* tersebut. Untuk *steepest ascent,* algoritma ini memiliki durasi yang

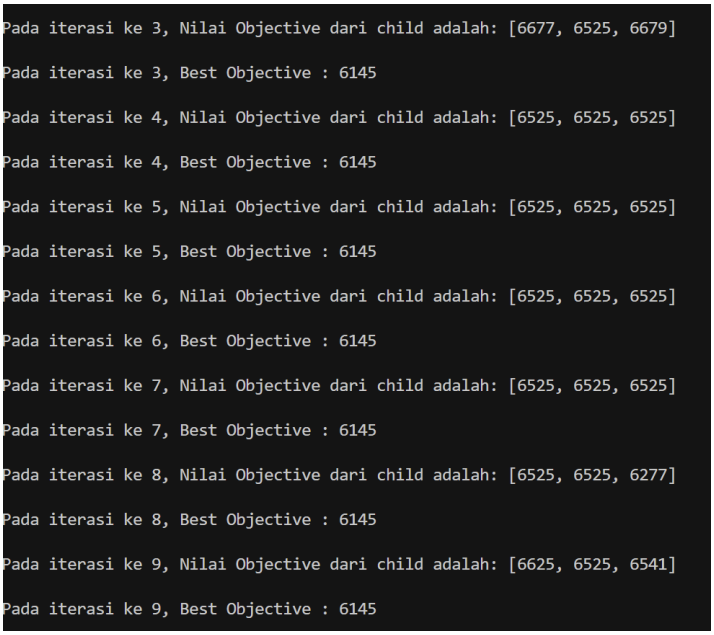
lebih singkat dibandingkan algoritma seperti *sideways move* dan *random restart* karena *steepest ascent* tidak mampu untuk berpindah ke *state* dengan nilai yang lebih rendah / sama darinya, dibandingkan dengan *random restart* yang melakukan pengulangan iterasi dari awal atau *sideways move* yang mampu berpindah ke nilai yang sama.

3. Konsistensi Hasil Akhir

Untuk algoritma *Hill Climbing*, selain *Stochastic* kami mendapatkan hasil yang cukup konsisten untuk setiap percobaan yang kami lakukan untuk masing-masing algoritma. Meski dengan *state* awal yang berbeda, hasil akhir yang didapat memang berbeda akan tetapi dalam rentang yang tidak jauh sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil yang didapat cukup konsisten. Hal tersebut dikarenakan algoritma ini selalu mencari *state* tetannga terbaik yang mungkin, terutama untuk *random restart* yang akan selalu mengambil solusi terbaik dari percobaan-percobaan yang dilakukan. Sedangkan untuk Simulated Annealing dan Genetic Algorithm, dan Stochastic, karena *neighbor state* di*generate* secara acak, maka hasil yang didapat tidak konsisten. Selain itu konsistensi pada ketiga algoritma tersebut juga dipengaruhi oleh banyaknya iterasi yang dilakukan.

4. Pengaruh Banyak Iterasi dan Jumlah Populasi Genetic Algorithm

Semakin sedikit populasi, semakin besar peluang individu yang terpilih menjadi *parent* merupakan individu yang sama karena metode *spin wheel* menggunakan jumlah populasi sebagai basis pemilihan *parent* sehingga semakin sedikit kandidat *parent*, semakin besar peluang terpilihnya indiividu yang sama untuk menjadi *parent.* Hal tersebut mengakibatkan *child* hasil crossover akan memberikan hasil yang sama dengan *parent*nya dan bisa menyebabkan ulangan terus menerus seperti gambar berikut



Untuk bisa dapat keluar dari perulangan yang sama tersebut, Genetic Algorithm memiliki fungsi mutasi yang bisa melakukan pertukaran secara acak. Namun, karena peluang untuk terjadinya mutasi kecil, maka mutasi pun jarang terjadi. Sebaliknya semakin besar populasi, semakin banyak kemungkinan *parent* untuk *crossover* sehingga individu yang dihasilkan bisa beragam serta peluang untuk mendapatkan nilai objektif yang lebih baik semakin tinggi.

Pengaruh banyaknya iterasi terhadap hasil akhir yaitu semakin banyak iterasi, akan meningkatkan kemungkinan algoritma untuk mendapatkan nilai objektif yang lebih baik karena individu dengan *crossover* kedua individu diharapkan akan menghasilkan *child* yang memiliki nilai objektif yang lebih baik. Oleh karena itu, ketika dilakukan iterasi yang lebih banyak, peluang untuk mencapai nilai objektif yang lebih baik pun semakin tinggi.

IV. Kesimpulan dan Saran

IV.1 Kesimpulan

Dari Tugas Besar ini, ada beberapa hal yang dapat disimpulkan diantaranya :

Algoritma yang dihasilkan dari tugas besar kali ini yaitu algoritma *local search* yang terdiri dari Hill Climbing, Simulated Annealing dan Genetic Algorithm. Algoritma tersebut digunakan dalam mencari nilai objektif terbaik yang berupa suatu *state* pada kubus yang paling memenuhi persyaratan *magic cube* yaitu penjumlahan setiap garisnya sejumlah *magic number*.

Dari hasil eksperimen yang kami lakukan, algoritma yang kami buat bisa melakukan perubahan *state* yang membuat nilai objektif semakin baik, akan tetapi dari percobaan yang kami lakukan, kami belum pernah mencapai kondisi global optimum. Namun, hasil yang kami dapatkan sudah cukup baik dalam mengurangi nilai objektif (mengurangi *error)* dari *state* awal. Algoritma yang dapat memberikan nilai objektif terbaik tanpa mempedulikan banyaknya iterasi adalah **Simulated Annealing**. Alasannya karena terdapat beberapa algoritma untuk menghindari lokal optimum (seperti pindah ke *state* yang lebih buruk dengan probabilitas tertentu). Walaupun begitu, karena banyaknya iterasi dan durasi yang dibutuhkan untuk menghasilkan nilai objektif terbaik algoritma Simulated Annealing kurang cocok jika membutuhkan solusi yang lebih cepat tanpa memerlukan hasil paling optimal. Karena itu, algoritma Steepest Ascent Hill Climbing dapat dipilih sebagai algoritma *"all rounder"* baik dari segi durasi, iterasi, juga kedekatannya dengan *global optima*, karena algoritma hanya akan berpindah ke *state* dengan nilai lebih baik, sehingga mengurangi jumlah iterasi dan durasi tanpa mengurangi *value* dari *state* yang ditempati.

Untuk durasi pencarian tercepat yaitu Stochastic Hill Climbing jika iterasi yang dilakukan sejumlah iterasi yang dilakukan pada algoritma Hill Climbing lainnya(+-100). Hal ini dikarenakan *neighbor state* dari algoritma ini di-*generate* secara acak dan tidak membangkitkan semua *successor*. Sedangkan untuk yang terlama yaitu Random Restart Hill Climbing karena algoritma ini membangkitkan semua *successor* dalam mencari *best neighbor state* serta ketika menemukan lokal optima, algoritma ini akan melakukan *restart*. *Local search* bermanfaat dalam memberikan solusi yang berfokus pada efisiensi karena hanya mencari di sekitar ruang solusi. Selain itu algoritma ini tergolong lebih cepat dibandingkan algoritma *classical search* dan lebih mudah diimplementasikan.

IV.2 Saran

- Gunakan bahasa pemrograman yang tepat agar dapat menjalankan kode dengan lebih cepat. Kami merekomendasikan bahasa pemrograman yang cepat agar ketika mengeksekusi algoritma Hill Climbing yang membangkitkan semua suksesor dapat berjalan lebih cepat.
- Dalam pembuatan *magic cube*, gunakan struktur matrix 3D agar lebih mempermudah pendefinisian *magic cube.* Ketika struktur kubus hanya didefinisikan dalam array,

bentuknya tidak akan terlalu terbayang dan akan cukup sulit dalam menentukan *objective function.*

- Usahakan visualisasi dalam bentuk 3D sehingga pengguna dapat lebih terbayang. Hal tersebut memungkinkan pengguna untuk bisa mengetahui tata letak dan struktur dari kubus (termasuk letak elemen-elemennya) dengan lebih jelas.
- Pilih *schedule* yang lebih *simple* (bisa dilakukan dengan pengurangan atau pengalian terhadap *coolingRate*). Tujuannya agar lebih mudah dilakukan analisis untuk setiap iterasi.
- Buat plot dari nilai objektif suatu *state* untuk setiap iterasi agar dapat lebih mudah diamati dan dianalisis serta ditarik kesimpulan dari algoritma yang dijalankan.

V. Pembagian Tugas

NIM	Nama	Kegiatan
18222022	Louis Ferdyo Gunawan	1. Membuat steepest 2. Membuat visualisasi 2 Dimensi 3. Membuat laporan bagian eksperimen & analisis pada hasil eksperimen 4. Membuat kesimpulan
18222028	Erwan Poltak Halomoan	1. Membuat Visualisasi 3 Dimensi 2. Membuat Stochastic Algorithm 3. Melakukan debug code (terutama pembentukan cube, state, dan objective function) 4. Membantu testing dan laporan bagian Genetic Algorithm
18222064	Hartanto Luwis	1. Membuat fungsi-fungsi dasar spt makeCube, random, dst 2. Membuat Simulated Annealing 3. Membuat Genetic Algorithm 4. Membuat detail fungsi dan penjelasannya di laporan 5. Membuat kesimpulan n saran
18222066	Ammar Naufal	1. Membuat Sideways Move 2. Membuat Random Restart 3. Membuat laporan bagian hasil eksperimen, membantu kesimpulan dan saran, serta merapikan laporan secara keseluruhan 4. Membantu debug dan revisi typography kode

VI. Referensi

- Magic Cube - Wolfram Mathworld
- Features of the magic cube - Magisch vierkant
- Perfect Magic Cubes (trump.de)
- Magic cube - Wikipedia
- Local Search Algorithm in Artificial Intelligence - GeeksforGeeks
- The Relation Between Complete and Incomplete Search