JOINTECH UMK
Vol. 3, No. 2, Juni 2023, PP. 123-134

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462

Journal Of Industrial Engineering And Technology (Jointech) Universitas Muria Kudus

Journal homepage :
http://journal.UMK.ac.id/index.php/jointech

PENENTUAN RUTE PENGIRIMAN ES BATU MENGGUNAKAN *NEAREST NEIGHBOR* DAN *EXCEL SOLVER*

Bellachintya Reira Christata[1,*], Rangga Primadasa[2]
[1,2] Teknik Industri, Universitas Muria Kudus,Jl Lingkar Utara, Gondang Manis, Bae, Indonesia
* email Koredpondensi : bellachintya.reira@umk.ac.id

INFO ARTIKEL

Article history :
Received : 15-5-2023
Accepted : 30-6-2023

Kata Kunci:
Traveling Salesman Problem
Nearest Neighbor
Excel Solver

ABSTRAK

Permasalahan yang sering dijumpai dalam optimasi pengiriman sebuah produk adalah *Travelling Salesman Problem* (TSP). TSP merupakan masalah pencarian rute terpendek dari sejumlah node, di dalam satu kali perjalanan. Perusahaan Es Batu dalam melakukan pengiriman menginginkan rute pengiriman yang terpendek, untuk mengurangi keterlambatan pengiriman. Dampak keterlambatan dalam pengiriman Es Batu terhadap kualitas es batu dapat menurunkan kepuasan pelanggan. Rute pengiriman yang tidak diatur akan berpengaruh terhadap tingginya biaya transportasi yang dikeluarkan oleh perusahaan. Perusahaan saat ini belum menggunakan metode tertentu dalam menentukan rute pengiriman. Penelitian ini melakukan penentuan rute terpendek dengan membandingkan penentuan rute menggunakan algoritma *nearest neighbor* dan menggunakan bantuan *Excel Solver*. Penentuan rute dengan algoritma *nearest neighbor*, didapatkan hasil yaitu 40.72 km sedangan dengan menggunakan bantuan software *Excel Solver* mendapatkan hasil 36.52 km. Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa penentuan rute menggunakan *Excel Solver* dapat mempersingkat rute perjalanan sebesar 22% dari rute sebelumnya.

PENDAHULUAN

Pada era globalisasi saat ini persaingan bisnis semakin meningkat. Kemajuan teknologi, dan kemudahan mengakses informasi mengakibatkan suatu bisnis dituntut untuk memiliki keunggulan kompetitif. Pada saat ini bisnis minuman dingin semakin meningkat, sebanding dengan permintaan es batu yang terus meningkat. Es batu merupakan produk yang sering dikonsumsi setiap harinya oleh masyarakat Indonesia. Indonesia memiliki iklim tropis

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462

yang merupakan salah satu faktor tingkat konsumsi es batu di Indonesia dapat dikatakan tinggi. Perusahaan Es Batu setiap harinya melakukan pengiriman ke *customer* nya untuk memenuhi kebutuhannya. Setiap perusahaan ingin meningkatkan kepuasan pelanggannya salah satunya dengan mengirimkan barang yang tepat. Faktor lain yang mempengaruhi kepuasan konsumen adalah ketersediaan produk untuk didistribusikan kepada konsumen dengan tepat waktu dan biaya minimum [1]. [2] menyebutkan bahwa faktor yang penting diperhatikan dalam memenuhi permintaan konsumen adalah proses pendistribusian produk dari perusahaan ke konsumen yang efektif, dan tepat waktu.

Es batu kristal merupakan produk yang memiliki siklus hidup pendek sehingga waktu penjualan produk tersebut cukup singkat. Es Kristal harus disimpan pada suhu dibawah 0° C untuk mempertahankan wujud dan kualitasnya [3]. Dalam pengirimannya es kristal dapat dikirim menggunakan kendaraan yang memiliki pendingin, akan tetapi penggunaan kendaraan dengan pendingin akan menghabiskan energi yang lebih dan mengakibatkan biaya distribusi meningkat.

Biaya distribusi dapat diminimumkan dengan mengefisienkan sistem distribusi, salah satu strateginya adalah penentuan rute pengiriman yang optimal [4]. Penentuan rute pengiriman yang optimal juga dapat membuat produk dapat diterima oleh konsumen dengan cepat, hal tersebut juga mampu meningkatkan keunggulan kompetitif dari suatu perusahaan. Dengan demikian penelitian ini akan melakukan penentuan rute pengiriman es batu kristal untuk meminimumkan biaya transportasi, dan meningkatkan keunggulan kompetitif perusahaan.

Penelitian penentuan rute telah banyak dilakukan oleh para peneliti, akan tetapi penelitian penentuan rute distribusi pada pengiriman es batu masih belum banyak dilakukan. Adapun penelitian penentuan rute distribusi es batu yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu antara lain [5], menggunakan metode nearest neighbor, dan nearest insertion. [6] menggunakan metode sweep. Pada penelitian [7] menggunakan metode *nearest neighbor* dan genetic dalam menentukan rute pengiriman. Penelitian [8] membandingkan dua metode dalam penentuan rute yaitu metode *nearest neighbor* dan *local search*. Dalam menentukan rute, penelitian [9] menggunakan metode dua sisi. Dalam menentukan rute pengiriman es batu pada penelitian ini membandingkan antara algoritma *nearest neighbor* seperti penelitian [6] dan [8], dengan penggunaan *Excel Solver*. Algortima *nearest neighbor* memiliki kelebihan dalam penentuan jarak yang dihasilkan mempertimbangkan jarak yang terpendek. Hal tersebut dapat meminimalkan jarak tempuh dan waktu perjalanan yang digunakan oleh armada. Algoritma *nearest neighbor* sering digunakan dalam penentuan rute karena dalam melakukan komputasinya membutuhkan waktu yang lebih singkat. Penelitian ini tidak hanya melakukan penentuan rute mengggunakan algoritma *nearest neighbor*, akan tetapi juga menggunakan penentuan rute menggunakan bantuan *Excel Solver*. Pada *Excel Solver* memiliki beberapa fitur antara lain Linier Programming dan *Evolutionary* Algorithm. Pada penelitian ini dipilih *Evolutionary Algorithm* (EA), karena pada EA memiliki kualitas dalam mendekati konvergensi dan memiliki solusi yang layak [10].

Penelitian ini menggunakan algoritma *nearest neighbor* untuk menentukan rute pengiriman es batu dimana algoritma tersebut memilih jarak terpendek dari serta menggunakan bantuan *Excel Solver* untuk membandingkan antara penentuan rute menggunakan algoritma *nearest neighbor* dan bantuan *Excel Solver*.

TRAVELING SALESMAN PROBLEM (TSP)

Traveling Salesman Problem (TSP) merupakan suatu permasalahan pencarian jarak terpendek dan harus Kembali ke tempat asal [11]. TSP merupakan permasalahan seorang

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462

sales yang harus mengunjungi beberapa kota/ tujuan untuk mengirimkan barang dan setiap kota/tujuan hanya bisa sekali dikunjungi, serta ketika selesai mengunjungi semua kota/tujuan sales tersebut harus kembali ke kota asalnya. Aturan yang mengidentifikasikan permasalahan dapat diselesaikan dengan *Traveling Salesman Problem* (TSP) antara lain adalah perjalanan dimulai dan diakhiri di tempat yang sama, seluruh node (*customer*) harus dikunjungi, tidak diperkenankan terdapat node (*customer*) yang terlewatkan/ tidak dilayani, dan *salesman* tidak boleh kembali ke tempat awal (depot) sebelum seluruh node (*customer*) terkunjungi. Tujuan dari TSP adalah mencari nilai optimum dengan mencari jarak terpendek yang dikunjungi dengan mengatur rute yang dilewati. [12] TSP dapat diselesaikan dengan menggunakan Algoritma *Nearest Neighbor,* dan *Branch and Bound.*

ALGORITMA NEAREST NEIGHBOR

Algoritma *Nearest neighbor* merupakan algoritma heuristic yang dapat digunakan dalam menyelesaikan permasalahan *Traveling Salesman Problem* (TSP). Algoritma *Nearest neighbor* memulai dengan menentukan titik awal kemudian mencari titik yang terdekat. Algoritma ini merupakan algoritma yang mudah untuk diimplementasikan dalam pencarian rute terpendek, akan tetapi tidak menjamin solusi yang didapatkan adalah solusi yang optimal. Menurut [8] untuk mendapatkan rute terpendek menggunakan algoritma *Nearest neighbor* harus melakukan beberapa prosedur berikut:

1. Dimulai dengan menentukan titik awal (depot), lanjut ke langkah 2.
2. Mencari titik terdekat dari titik awal, kemudian menghubungkan titik tersebut, lanjut ke langkah 3.
3. Mengulangi langkah 2 hingga semua titik terkunjung, dan melanjutkan ke langkah 4.
4. Menghubungkan titik pertama dengan titik terakhir untuk melengkapi rute.
5. Prosedur selesai.

EXCEL SOLVER

Microsoft Excel memiliki suatu fitur program *add in* yang bernama *Solver*. Fitur *Solver* membantu penggunanya untuk memecahkan permasalahan optimasi. Fitur ini berada di *Tool* pada *Microsoft Excel*. Pada fitur *Solver* sudah menampilkan beberapa algoritma antara lain *Evolutionary Algorithm* (EA), *Generalized Reduced Gradient Methods*, dan *Simplex Linier Programming.* Dalam memecahkan permasalahan *Traveling Salesman Problem* dapat menggunakan EA dan *Simplex Linier Programming* [13]. Dalam membangun model matematika dapat menggunakan *spreadsheet* melalui sel-sel yang terpisah dalam merepresentasikan fungsi tujuan, variabel keputusan, dan kendala-kendala atau batasan pada permasalah optimasi. Dalam permasalahan TSP menjelaskan bahwa tidak boleh terdapat kunjungan ke node lebih dari satu kali, maka dari itu variabel keputusan dapat didefinisikan sebagai keputusan biner. Selain itu, TSP mendefinisikan bahwa tidak boleh node dilalui lebih dari 1 kali, untuk memenuhi pembatas tersebut *Excel Solver* memiliki fitur "*all different*" yang berarti bahwa tidak diperbolehkan node bisa dilewati lebih dari sekali [10]. Secara umum tahapan dari penggunaan *Excel Solver* adalah sebagai berikut [14] :

a. Membuat lembar kerja pada *Microsoft Excel*, disesuaikan dengan matriks fungsi tujuan dan sistem persamaan kendala atau batasan-batasannya.
b. Menggunakan *Excel Solver* dengan mendefinisikan fungsi tujuan, variabel keputusan, dan kendala atau pembatas – pembatasnya, serta menentukan jenis algoritma yang akan digunakan.

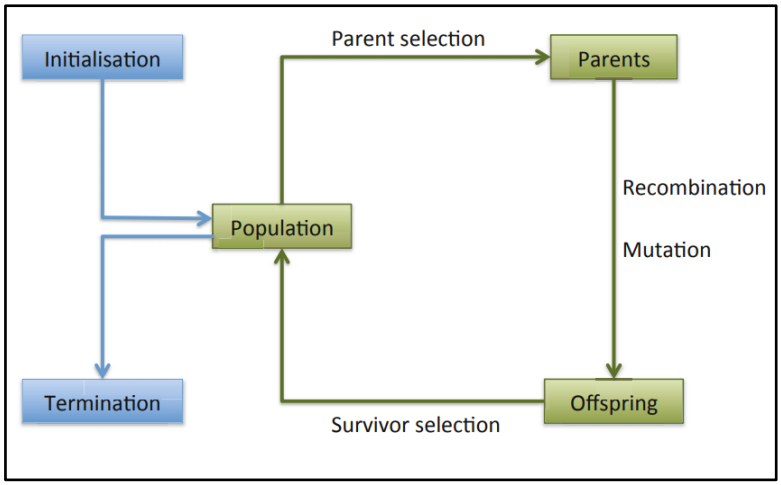
P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462

c. Menjalankan program *Solver* untuk mendapatkan solusi yang paling optimal.

Dalam penelitian ini menggunakan algoritma pemecahan *Traveling Salesman Problem* heuristic yaitu *Evolutionary Algorithm* (EA). EA merupakan sebuah algoritma dalam penyelesaian permasalahan optimasi yang terinsipirasi dari teori Darwin mengenai kapabilitas sebuah individu dapat beradaptasi di alam secara baik [15]. Gagasan algorithma EA adalah bagaimana suatu populasi individu dalam suatu lingkungan dapat bertahan dalam keterbatasan sumber daya yang tersedia. Algortihm EA memiliki beberapa komponen antara lain [15] :

a. *Representation* : Mendefinisikan individu yang melibatkan reperesentasi genotip dan pemetaan genotip - fenotip
b. *Evaluation function* (*fitness function*) : kebutuhan populasi agar mampu beradaptasi.
c. *Population* : sebagai sumber pembangkitan solusi, yang terdiri dari himpunan – himpunan genotip.
d. *Parent Selection Mechanism*
e. *Variation Operators* (*Mutation and Recombination*)
f. *Mutation*
g. *Recombination*
h. *Survivor Selection Mechanism* (*Replacement*)

Pada Gambar 1 dijelaskan mengenai skema umum dari algorithma *Evolutionary Algortihm*.



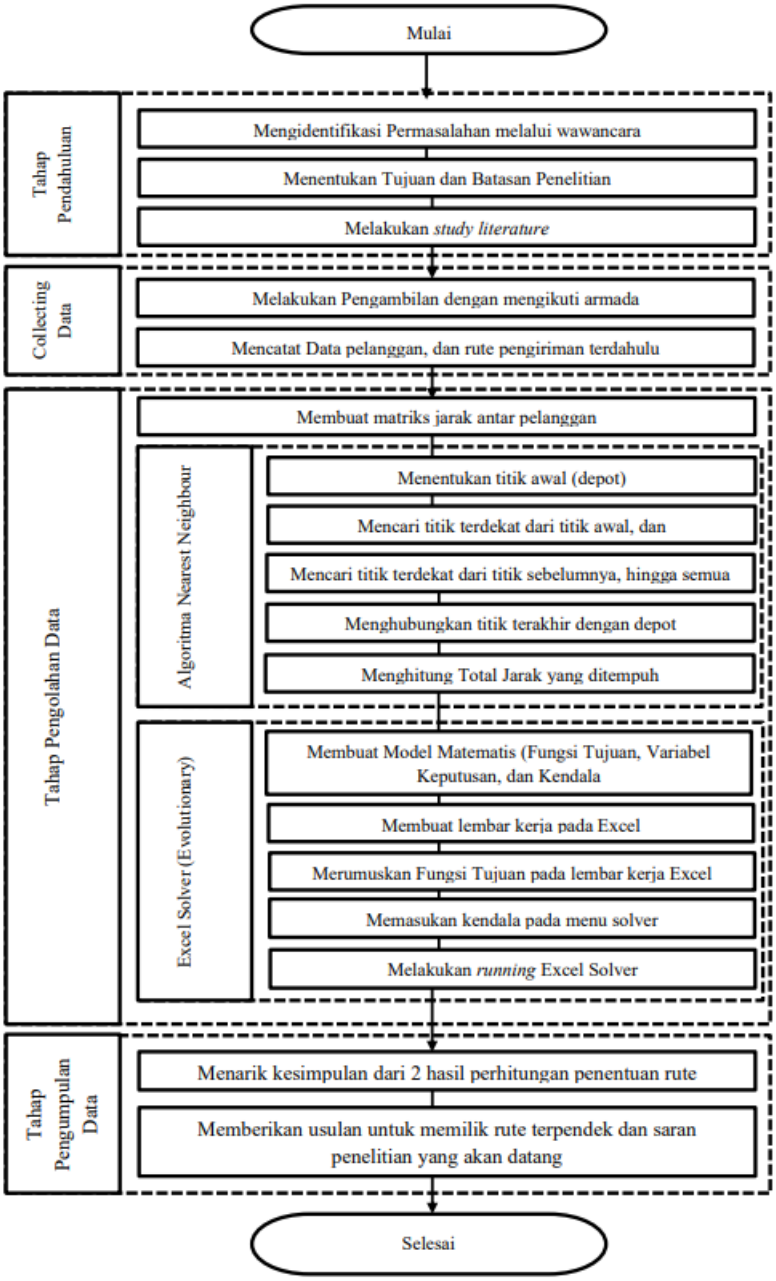
Gambar 1. Flow Chart *Evolutionary Algorithm*
Sumber : Eiben, A. E., Smith, J.E, *Introduction to Evolutionary Computing*, Springer, Heidelberg, 2015

Algorithma EA diawali dengan tahap inisialisasi dimana populasi awal harus dibuat dengan cara membangkitkan individu-individu secara random. Tahap selanjutnya adalah harus menetapkan kondisi *termination* yaitu bagaimana komputasi bisa menerima solusi ketika mencapai *optimal fitness.*

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini terdapat beberapa langkah untuk mendapatkan rute terpendek dari pengiriman es batu. Tahapan dalam melakukan penelitian ini dapat dilihat Pada Gambar 2.

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462



Gambar 2**.** Metodologi Penelitian

Pertama adalah mengidentifikasi permasalahan yang akan diteliti. Tahap kedua adalah melakukan studi literature yang berkaitan dengan permasalahan yang akan diteliti. Dari hasil studi literature di dapatkan beberapa metode untuk menyelesaikan permasalahan yaitu *Nearest Neighbor*. Tahap ketiga ialah pengambilan data, pengambilan data diambil dengan cara mengikuti armada pengiriman untuk mengetahui tujuan pengiriman, rute terdahulu, waktu pengiriman, dan waktu pelayanan.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pengiriman es batu dari satu depot menuju beberapa *customer*. Berdasarkan hasil pengambilan data, terdapat 17 lokasi

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462

customer yang harus dilayani. Dari 17 *customer* dicari jarak setiap *customer*nya menggunakan bantuan *google maps*. Pada Tabel 2 disajikan data jarak dari setiap *customer*.

Tabel 2**.** Jarak Antar *Customer*

Dari \ Ke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	-	2,2	2,7	3,5	2,7	4,2	4,6	4,8	4,9	5,4	6	10,4	13,1	11,2	7,8	7,8	7	11,2
2	3,4	-	0,45	1,6	2	2,3	2,3	2,5	2,6	2,8	3,8	8	10,8	9,1	5,6	5,9	5,4	9,1
3	2,5	1,2	-	1,6	2	2,3	2,3	2,5	2,6	3,2	3,8	8,2	10,8	9,1	5,6	5,9	6	9,1
4	3,5	1,6	1,6	-	0,45	0,8	1,1	1,3	1,5	2	2,7	6,5	9,6	7,8	5,2	6,4	0,85	7,8
5	3,9	3,2	2	0,55	-	0,35	1	1,2	1,4	1,9	2,2	6,1	9,2	7,5	4,8	6	6,6	7,5
6	4,2	3,5	2,3	0,9	0,35	-	0,85	1,6	1,8	2,2	1,8	5,7	8,8	7,2	4,4	5,6	6,3	7,2
7	4,7	3,6	2,7	1,7	1,5	1,8	-	1,7	1,5	2,3	1,9	6,3	8,9	7,2	4,5	5,7	6,4	7,2
8	4,9	3	2,5	1,5	1,2	1,6	0,8	-	0,12	0,7	1,5	5,9	8,6	6,9	4,1	5,3	6	6,9
9	5,1	2,9	2,6	1,6	1,4	1,7	0,9	0,12	-	0,55	1,6	6,2	8,9	7	4,2	5,6	6,1	7
10	5,6	2,1	3,2	2,1	1,9	2,3	1,5	0,7	0,55	-	1	5,7	8,3	6,6	3,6	4,8	5,7	6,6
11	6,1	2,7	3,8	2,8	2,2	1,9	2,4	1,7	1,6	1	-	4,7	7,3	5,6	2,6	3,8	4,7	5,6
12	10,3	7	8,3	6,8	6,3	5,9	6,5	6,1	6	5,4	4,4	-	3,6	1	4,3	5,5	6,2	1
13	14,7	11	12,2	11,3	10,7	10,3	10,9	10,5	10,4	8,1	8,8	6,4	-	4,9	8,2	6,3	7,3	4,9
14	10,4	7	8,3	6,9	6,4	6	6,6	6,2	6	5,5	4,5	1,5	4,6	-	4,4	5,6	6,3	0,1
15	7,8	4,5	5,6	6,3	5,8	5,4	6	5,2	5,1	4,1	3,1	5	5,7	5,9	-	1,5	2,2	5,9
16	7,8	4,8	5,9	7,2	6,6	6,3	6,3	5,5	5,4	4,8	4,3	5,9	6	6,8	1,9	-	1,1	6,8
17	7	4,3	5,4	7	6,7	6,3	6,3	5,6	5,4	4,9	4,3	5,9	9,4	6,8	2	1,1	-	6,8
18	10,3	7	8,3	6,9	6,4	6	6,6	6,2	6	5,5	4,5	1,5	4,6	0,1	4,4	5,6	6,8	-

Dari data yang didapatkan dilakukan pengolahan data menggunakan algoritma *nearest neighbor* seperti pada penelitian [8]. Tahap selanjutnya mengolah data menggunakan fitur *Excel Solver* seperti pada penelitian [10]. Dari hasil pengolahan data, selanjutnya hasil dibandingkan, dan dipilih rute terpendek atau hasil pengolahan data yang memiliki jarak paling kecil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Nearest Neighbor

Menurut [8] algoritma *nearest neighbor* adalah algoritma penentuan rute terpendek yang memilih jarak terpendek dari deponya. Tabel 2 menunjukan jarak yang ditempuh dari depot ke *customer*, dan dari setiap *customer*nya. Depot pada penelitian ini dilambangkan dengan angka 1 pada Matriks Jarak, sedangkan angka 2 hingga 18 adalah *customer* yang dilayani.

Langkah pertama adalah menentukan jarak terpendek dari depot (1), jarak terpendek dari (1) adalah (2) yang memiliki jarak 2.2 km. Langkah selanjutnya adalah memilih jarak terpendek dari *customer* (2) yaitu *customer* 3, dengan jarak 1.6 km. Pencarian jarak terpendek dilakukan hingga semua node terhubung dan kembali ke depot (1). Dari hasil perhitungan didapatkan hasil rute terpendek adalah 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 9 – 8 – 10 – 11 – 15 – 16 – 17 – 12 – 14 – 18 – 13 – 1 distribusi es batu dengan algoritma dari *Nearest neighbor* dengan total jarak yaitu 40.72.

B. Excel Solver

Dalam menyelesaikan permasalahan menggunakan *Evolutionary Algorithm* (EA) dengan bantuan *Excel Solver* langkah pertama yang dilakukan adalah membangun formulasi model matematis dari permasalahan *Traveling Salesman Problem.* Notasi yang digunakan dalam model matematik penentuan rute pada penelitian ini sebagai berikut :

d_{ij} = Jarak antara pelanggan *i* ke pelanggan *j* dimana *i, j* = 1, 2, 3, … , n

d_{ii} = suatu nilai yang sangat besar, atau dikatakan *M* (bukan nol)

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462

x_{ij} = Ada tidaknya perjalanan armada dari pelanggan *i* ke pelanggan *j*

$$x_{ij} \begin{cases} 1, jika\ terdapat\ penugasan\ dari\ i\ ke\ j \\ 0, jika\ tidak\ terdapat\ penugasan\ dari\ i\ ke\ j \end{cases}$$

Model matematika dalam permasalahan *Traveling Salesman Problem* (TSP) pada pengiriman es batu adalah sebagai berikut :

Fungsi tujuan

$$Minimasi\ Z = \sum_{i=1}^{18} \sum_{j=1}^{18} d_{ij}\, x_{ij} \tag{1}$$

Variabel Keputusan :

$$x_{ij} \tag{2}$$

Pada permasalahan TSP (*Traveling Salesman Problem*) terdapat beberapa kendala yang harus diperhatikan antara lain :

a. Salesman memulai perjalanan dari 1 depo. Pada penelitian ini depo dilambangkan dengan nomor 1, sehingga dapat ditulis :

$$\sum_{j=2}^{18} x_{1j} = 1 \quad \forall\, j = 2, 3, \ldots., 18 \tag{3}$$

b. Salesman hanya melakukan pengiriman ke pelanggan sekali, sehingga dapat ditulis sebagai berikut :

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{18} x_{ij} = 1 \quad \forall\, i = 1, 2, 3, \ldots., 18 \tag{4}$$

c. Salesman hanya melakukan pengiriman dari tempat pelanggan, sehingga dapat ditulis sebagai berikut :

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{18} x_{ij} = 1 \quad \forall\, j = 1, 2, 3, \ldots., 18 \tag{5}$$

d. Salesman mengakhiri perjalanan dengan kembali ke depo. Pada penelitian ini depo dilambangkan dengan nomor 1, sehingga dapat ditulis :

$$\sum_{i=2}^{18} x_{i1} = 1 \quad \forall\, i = 2, 3, \ldots., 18 \tag{6}$$

e. Jalur hanya dilewati sekali atau tidak sama sekali.

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall\, i = 1, 2, 3, \ldots., 18 \qquad \forall\, j = 1, 2, 3, \ldots., 18 \tag{7}$$

Model matematis tersebut dimasukan ke dalam *Solver add ins* pada *Microsoft Excel* untuk mendapatkan hasil yaitu rute paling minimum.

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462

Langkah 1 : membuat matriks jarak

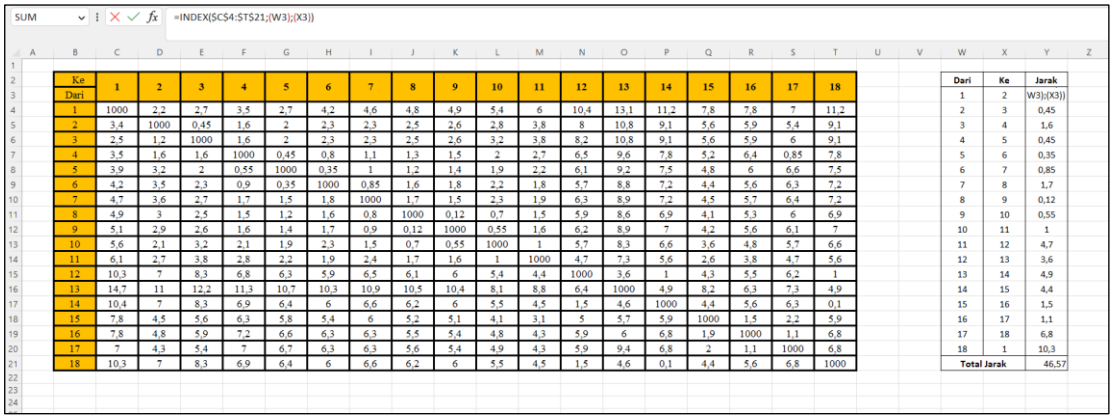
Ke / Dari	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1000	2,2	2,7	3,5	2,7	4,2	4,6	4,8	4,9	5,4	6	10,4	13,1	11,2	7,8	7,8	7	11,2
2	3,4	1000	0,45	1,6	2	2,3	2,3	2,5	2,6	2,8	3,8	8	10,8	9,1	5,6	5,9	5,4	9,1
3	2,5	1,2	1000	1,6	2	2,3	2,3	2,5	2,6	3,2	3,8	8,2	10,8	9,1	5,6	5,9	6	9,1
4	3,5	1,6	1,6	1000	0,45	0,8	1,1	1,3	1,5	2	2,7	6,5	9,6	7,8	5,2	6,4	0,85	7,8
5	3,9	3,2	2	0,55	1000	0,35	1	1,2	1,4	1,9	2,2	6,1	9,2	7,5	4,8	6	6,6	7,5
6	4,2	3,5	2,3	0,9	0,35	1000	0,85	1,6	1,8	2,2	1,8	5,7	8,8	7,2	4,4	5,6	6,3	7,2
7	4,7	3,6	2,7	1,7	1,5	1,8	1000	1,7	1,5	2,3	1,9	6,3	8,9	7,2	4,5	5,7	6,4	7,2
8	4,9	3	2,5	1,5	1,2	1,6	0,8	1000	0,12	0,7	1,5	5,9	8,6	6,9	4,1	5,3	6	6,9
9	5,1	2,9	2,6	1,6	1,4	1,7	0,9	0,12	1000	0,55	1,6	6,2	8,9	7	4,2	5,6	6,1	7
10	5,6	2,1	3,2	2,1	1,9	2,3	1,5	0,7	0,55	1000	1	5,7	8,3	6,6	3,6	4,8	5,7	6,6
11	6,1	2,7	3,8	2,8	2,2	1,9	2,4	1,7	1,6	1	1000	4,7	7,3	5,6	2,6	3,8	4,7	5,6
12	10,3	7	8,3	6,8	6,3	5,9	6,5	6,1	6	5,4	4,4	1000	3,6	1	4,3	5,5	6,2	1
13	14,7	11	12,2	11,3	10,7	10,3	10,9	10,5	10,4	8,1	8,8	6,4	1000	4,9	8,2	6,3	7,3	4,9
14	10,4	7	8,3	6,9	6,4	6	6,6	6,2	6	5,5	4,5	1,5	4,6	1000	4,4	5,6	6,3	0,1
15	7,8	4,5	5,6	6,3	5,8	5,4	6	5,2	5,1	4,1	3,1	5	5,7	5,9	1000	1,5	2,2	5,9
16	7,8	4,8	5,9	7,2	6,6	6,3	6,3	5,5	5,4	4,8	4,3	5,9	6	6,8	1,9	1000	1,1	6,8
17	7	4,3	5,4	7	6,7	6,3	6,3	5,6	5,4	4,9	4,3	5,9	9,4	6,8	2	1,1	1000	6,8
18	10,3	7	8,3	6,9	6,4	6	6,6	6,2	6	5,5	4,5	1,5	4,6	0,1	4,4	5,6	6,8	1000

Gambar 3**.** Matriks Jarak Pada *Excel Solver*

Pembuatan matriks jarak diambil dari jarak antar *customer*. Jarak perjalanan dari suatu tempat i ke tujuannya j dinotasikan sebagai d_{ij}. Sebagai contoh jarak antar depo (1) ke *customer* 2 maka dapat ditulis d_{12} = 2.2 km. Apabila titik asal i dan tujuan j sama, maka diberikan jarak yang bernilai besar, hal tersebut difungsikan agar rute tersebut tidak dilewati karena memiliki nilai yang besar. Pada penelitian ini menggunakan nilai 1000 km yang dapat dilihat Pada Gambar 3.

Langkah 2 : Membuat fungsi tujuan

Fungsi tujuan disusun menggunakan persamaan (1) dengan bantuan kolom untuk menghitung total jarak yang ditempuh. Dalam menghitung jarak dari setiap jalur yang dilewati menggunakan fungsi index pada *Excel Solver*, yang dapat di lihat Pada Gambar 4. Lalu dijumlahkan dengan menggunakan fungsi sum.



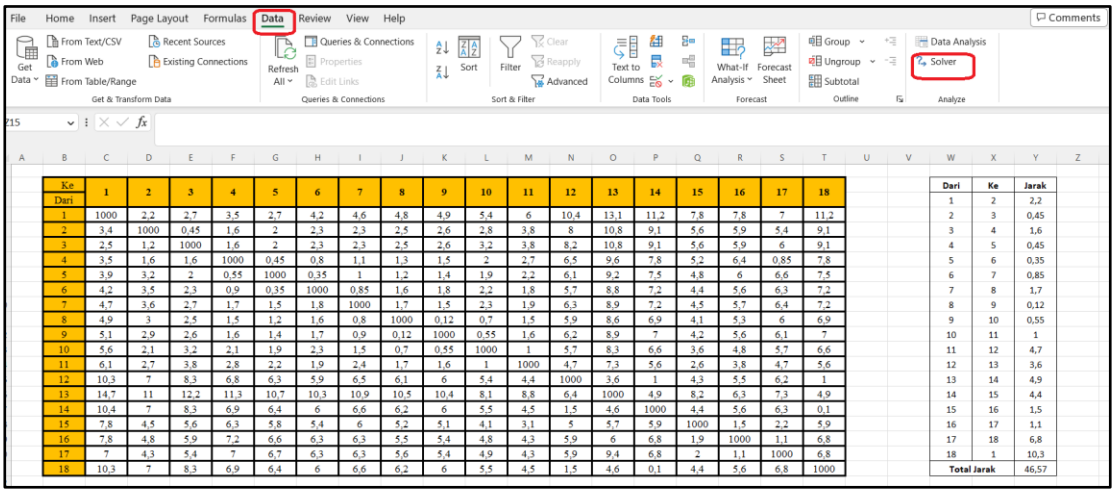
Dari	Ke	Jarak
1	2	W3);(X3))
2	3	0,45
3	4	1,6
4	5	0,45
5	6	0,35
6	7	0,85
7	8	1,7
8	9	0,12
9	10	0,55
10	11	1
11	12	4,7
12	13	3,6
13	14	4,9
14	15	4,4
15	16	1,5
16	17	1,1
17	18	6,8
18	1	10,3
Total Jarak		46,57

Gambar 4**.** Fungsi Tujuan

Langkah 3 : Membuat Model dengan *Excel Solver*

Dalam pembuatan model dengan *Excel Solver* menggunakan fiture *Solver* yang dapat diakses melalui menu Data – *Solver*, yang dapat dilihat pada Gambar 5. Apabila pada Excel belum tersedia menu *Solver* maka bisa ditambahkan dengan menambahkan pada menu file – add ins.

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462



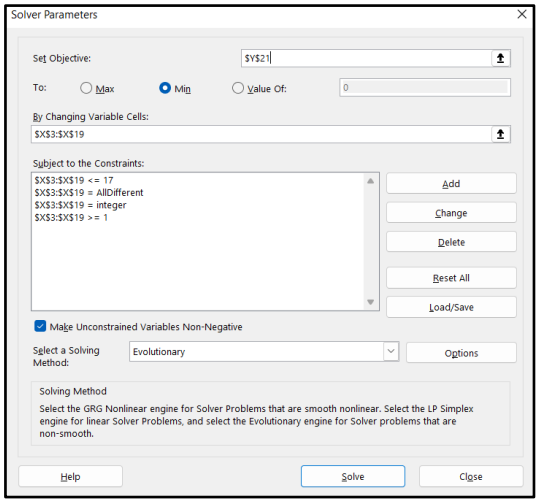
Ke / Dari	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1000	2,2	2,7	3,5	2,7	4,2	4,6	4,8	4,9	5,4	6	10,4	13,1	11,2	7,8	7,8	7	11,2
2	3,4	1000	0,45	1,6	2	2,3	2,3	2,5	2,6	2,8	3,8	8	10,8	9,1	5,6	5,9	5,4	9,1
3	2,5	1,2	1000	1,6	2	2,3	2,3	2,5	2,6	3,2	3,8	8,2	10,8	9,1	5,6	5,9	6	9,1
4	3,5	1,6	1,6	1000	0,45	0,8	1,1	1,3	1,5	2	2,7	6,5	9,6	7,8	5,2	6,4	0,85	7,8
5	3,9	3,2	2	0,55	1000	0,35	1	1,2	1,4	1,9	2,2	6,1	9,2	7,5	4,8	6	6,6	7,5
6	4,2	3,5	2,3	0,9	0,35	1000	0,85	1,6	1,8	2,2	1,8	5,7	8,8	7,2	4,4	5,6	6,3	7,2
7	4,7	3,6	2,7	1,7	1,5	1,8	1000	1,7	1,5	2,3	1,9	6,3	8,9	7,2	4,5	5,7	6,4	7,2
8	4,9	3	2,5	1,5	1,2	1,6	0,8	1000	0,12	0,7	1,5	5,9	8,6	6,9	4,1	5,3	6	6,9
9	5,1	2,9	2,6	1,6	1,4	1,7	0,9	0,12	1000	0,55	1,6	6,2	8,9	7	4,2	5,6	6,1	7
10	5,6	2,1	3,2	2,1	1,9	2,3	1,5	0,7	0,55	1000	1	5,7	8,3	6,6	3,6	4,8	5,7	6,6
11	6,1	2,7	3,8	2,8	2,2	1,9	2,4	1,7	1,6	1	1000	4,7	7,3	5,6	2,6	3,8	4,7	5,6
12	10,3	7	8,3	6,8	6,3	5,9	6,5	6,1	6	5,4	4,4	1000	3,6	1	4,3	5,5	6,2	1
13	14,7	11	12,2	11,3	10,7	10,3	10,9	10,5	10,4	8,1	8,8	6,4	1000	4,9	8,2	6,3	7,3	4,9
14	10,4	7	8,3	6,9	6,4	6	6,6	6,2	6	5,5	4,5	1,5	4,6	1000	4,4	5,6	6,3	0,1
15	7,8	4,5	5,6	6,3	5,8	5,4	6	5,2	5,1	4,1	3,1	5	5,7	5,9	1000	1,5	2,2	5,9
16	7,8	4,8	5,9	7,2	6,6	6,3	6,3	5,5	5,4	4,8	4,3	5,9	6	6,8	1,9	1000	1,1	6,8
17	7	4,3	5,4	7	6,7	6,3	6,3	5,6	5,4	4,9	4,3	5,9	9,4	6,8	2	1,1	1000	6,8
18	10,3	7	8,3	6,9	6,4	6	6,6	6,2	6	5,5	4,5	1,5	4,6	0,1	4,4	5,6	6,8	1000

Dari	Ke	Jarak
1	2	2,2
2	3	0,45
3	4	1,6
4	5	0,45
5	6	0,35
6	7	0,85
7	8	1,7
8	9	0,12
9	10	0,55
10	11	1
11	12	4,7
12	13	3,6
13	14	4,9
14	15	4,4
15	16	1,5
16	17	1,1
17	18	6,8
18	1	10,3
Total Jarak		46,57

Gambar 5. Menu *Solver*

Pada tampilan *Solver* parameter dilakukan pengisian fungsi tujuan pada form *"set objective*" . Pada form "*set objective*" diisi dengan fungsi tujuan yang telah dirumuskan pada *spread sheet* pada Gambar 3 menggunakan rumus pada persamaan (1). Pada kasus TSP fungsi tujuannya merupakan total jarak paling minimum yang ditempuh untuk mengirimkan es batu. Maka dari itu, pada fungsi tujuan dipilih "Min" yang berarti memilih nilai yang paling minimum dari hasil-hasil kemungkinan untuk dijadikan fungsi tujuan.

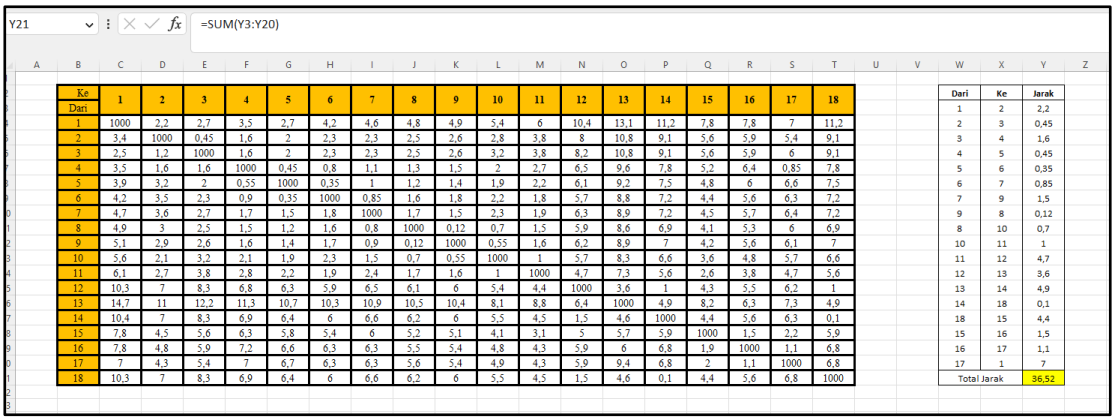
Pada form constraint diisi dengan menggunakan constraint yang sesuai dengan ketentuan dari *Traveling Salesman Problem* yang telah dijelaskan pada persamaan (3), (4), (5), (6), (7). Dapat dilihat pada Gambar 5 kendala pertama merupakan kendala dimana salesman mengawali keberangkatan dari depo, dan mengakhiri perjalanannya berhenti pada depo. Jumlah lokasi yang dikunjungi adalah 17 lokasi oleh sebab itu tujuan pengantaran tidak boleh melebihi 17. Pada kendala dua dijelaskan bahwa pengantaran hanya dilakukan sekali saja, oleh sebab itu tujuan perjalanan tidak boleh ada yang sama (double) maka dapat ditulis dengan "all different". Pada kendala tiga dijelaskan bahwa tujuan bernilai integer (bilangan bulat) maka dapat ditulis dengan "integer". Pada kendala keempat dijelaskan bahwa tujuan pengiriman dimulai dan diakhiri pada depo, maka dapat ditulis bahwa tujuan pengiriman harus lebih dari sama dengan 1, karena 1 merupakan depo.



Gambar 6. Model Matematis

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462

Langkah selanjutnya adalah memilih metode untuk pencarian hasil yang optimal. Pada *Solver* terdapat beberapa jenis metode antara lain *GRG Non linier*, simplex LP, dan *Evolutionary*. Pada penelitian ini digunakan metode *Evolutionary* dalam mencari hasil yang maksimum. Setelah terisi semua maka dapat di klik Solve untuk memulai pencarian hasilnya, yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Y21 =SUM(Y3:Y20)

Ke / Dari	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1000	2,2	2,7	3,5	2,7	4,2	4,6	4,8	4,9	5,4	6	10,4	13,1	11,2	7,8	7,8	7	11,2
2	3,4	1000	0,45	1,6	2	2,3	2,3	2,5	2,6	2,8	3,8	8	10,8	9,1	5,6	5,9	5,4	9,1
3	2,5	1,2	1000	1,6	2	2,3	2,3	2,5	2,6	3,2	3,8	8,2	10,8	9,1	5,6	5,9	6	9,1
4	3,5	1,6	1,6	1000	0,45	0,8	1,1	1,3	1,5	2	2,7	6,5	9,6	7,8	5,2	6,4	0,85	7,8
5	3,9	3,2	2	0,55	1000	0,35	1	1,2	1,4	1,9	2,2	6,1	9,2	7,5	4,8	6	6,6	7,5
6	4,2	3,5	2,3	0,9	0,35	1000	0,85	1,6	1,8	2,2	1,8	5,7	8,8	7,2	4,4	5,6	6,3	7,2
7	4,7	3,6	2,7	1,7	1,5	1,8	1000	1,7	1,5	2,3	1,9	6,3	8,9	7,2	4,5	5,7	6,4	7,2
8	4,9	3	2,5	1,5	1,2	1,6	0,8	1000	0,12	0,7	1,5	5,9	8,6	6,9	4,1	5,3	6	6,9
9	5,1	2,9	2,6	1,6	1,4	1,7	0,9	0,12	1000	0,55	1,6	6,2	8,9	7	4,2	5,6	6,1	7
10	5,6	2,1	3,2	2,1	1,9	2,3	1,5	0,7	0,55	1000	1	5,7	8,3	6,6	3,6	4,8	5,7	6,6
11	6,1	2,7	3,8	2,8	2,2	1,9	2,4	1,7	1,6	1	1000	4,7	7,3	5,6	2,6	3,8	4,7	5,6
12	10,3	7	8,3	6,8	6,3	5,9	6,5	6,1	6	5,4	4,4	1000	3,6	1	4,3	5,5	6,2	1
13	14,7	11	12,2	11,3	10,7	10,3	10,9	10,5	10,4	8,1	8,8	6,4	1000	4,9	8,2	6,3	7,3	4,9
14	10,4	7	8,3	6,9	6,4	6	6,6	6,2	6	5,5	4,5	1,5	4,6	1000	4,4	5,6	6,3	0,1
15	7,8	4,5	5,6	6,3	5,8	5,4	6	5,2	5,1	4,1	3,1	5	5,7	5,9	1000	1,5	2,2	5,9
16	7,8	4,8	5,9	7,2	6,6	6,3	6,3	5,5	5,4	4,8	4,3	5,9	6	6,8	1,9	1000	1,1	6,8
17	7	4,3	5,4	7	6,7	6,3	6,3	5,6	5,4	4,9	4,3	5,9	9,4	6,8	2	1,1	1000	6,8
18	10,3	7	8,3	6,9	6,4	6	6,6	6,2	6	5,5	4,5	1,5	4,6	0,1	4,4	5,6	6,8	1000

Dari	Ke	Jarak
1	2	2,2
2	3	0,45
3	4	1,6
4	5	0,45
5	6	0,35
6	7	0,85
7	9	1,5
9	8	0,12
8	10	0,7
10	11	1
11	12	4,7
12	13	3,6
13	14	4,9
14	18	0,1
18	15	4,4
15	16	1,5
16	17	1,1
17	1	7
Total Jarak		36,52

Gambar 7**.** Hasil

Pada Gambar 7 dapat dilihat hasil dari penentuan rute menggunakan *Excel Solver*. Hasil yang didapatkan menggunakan *Solver* pada *Microsoft Excel* di dapatkan rute yang optimal adalah sebagai berikut 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 9 – 8 – 10 – 11 – 12 – 13 – 14 – 18 – 15 – 16 – 17 – 1 dengan total jarak yaitu 36.52 km.

Tabel 2. Perbandingan Perhitungan Jarak

Metode	Rute Terbentuk	Jarak (km)
Rute Awal	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 – 11 – 12 – 13 – 14 – 15 – 16 – 17 – 18 – 1	46.57
Metode *Nearest neighbor*	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 9 – 8 – 10 – 11 – 15 – 16 – 17 – 12 – 14 – 18 – 13 – 1	40.72
Excel Solver	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 9 – 8 – 10 – 11 – 12 – 13 – 14 – 18 – 15 – 16 – 17 – 1	36.52

Dari beberapa algoritma penentuan rute, didapatkan hasil yang optimal adalah menggunakan *Excel Solver* dengan hasil yaitu 36.52 km. Rute tersebut dapat meminimumkan jarak

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian sebelum melakukan penentuan rute terpendek, dalam mengirimkan es batu, perusahaan menempuh total jarak yaitu 46.57 km. Perhitungan menggunakan algoritma Nearest Neighbor, di dapatkan masing-masing total jarak yang ditempuh adalah 40.72 km. Metode exact dengan menggunakan bantuan *Excel Solver* mendapatkan hasil yang lebih optimal disbanding menggunakan algoritma *nearest neighbor* dengan hasil 36.52 km. Metode exact dapat mempersingkat rute pengiriman es batu sebesar 22% dibandingkan dengan rute awal. Perusahaan diharapkan menerapkan rute pengiriman dengan hasil perhitungan Metode Exact dengan rute sebagai berikut 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462

– 9 – 8 – 10 – 11 – 12 – 13 – 14 – 18 – 15 – 16 – 17 – 1 agar dapat mempersingkat rute pengiriman.

Saran pada penelitian selanjutnya untuk bisa memperhatikan emisi carbon yang dikeluarkan oleh kegiatan pengiriman es batu agar dapat menunjang aspek keberlanjutan, dan mampu memberikan dampak yang besar bagi perusahan dan lingkungan sekitar. Selain itu untuk penelitian selanjutnya dapat memperhatikan kapasitas armada dalam setiap kali pengiriman.

DAFTAR PUSTAKA

[1] E. R. . Pujawan, I.N. dan Mahendrawati, *Supply Chain Management*. Surabaya: Guna widya, 2010.

[2] E. P, "MENGOPTIMALKAN BIAYA TRANSPORTASI UNTUK PENENTUAN JALUR DISTRIBUSI PRODUK ' X ' DENGAN METODE SAVING MATRIKS," *J. Penelit. Ilmu Tek.*, vol. 9, no. 2, pp. 143–150, 2009.

[3] S. Bektiarso, "Analysis of Physics Concept in the Making of Rotary Ice Cream 1," *J. Ilm. Wahana Pendidikan*, vol. 9, no. 2, pp. 575–579, 2023.

[4] I. A. Setiani and Lukmandono, "Optimasi rute distribusi obat untuk meminimalkan biaya transportasi dengan menggunakan metode saving matrix," *Airlangga J. Innov. Manag.*, vol. 1, no. 2, pp. 226–236, 2020.

[5] I. C. Kurniawan and L. D. Fathimahayati, "PENENTUAN RUTE TERPENDEK MENGGUNAKAN ALGORITMA NEAREST NEIGHBOR DAN INSERTION (STUDI KASUS ES KRISTAL BAROKAH) Determination Of The Shortest Distribution Routes Using Algoritma Nearest Neighbor And Insertion," *J. Ilm. Intech Inf. Technol. J. UMUS*, vol. 4, no. 1, pp. 1–9, 2022.

[6] A. Rozalina, S. Uslianti, and P. Anggela, "Optimasi Rute Distribusi dengan Penyelesaian Vehicle Routing Problem Menggunakan Algoritma Sweep pada PD XYZ di Pontianak," *J. TIN Univ. Tanjungpura*, vol. 4, no. 1, pp. 45–50, 2020.

[7] A. Rini, S. Susanty, and Y. Nurdiansyah, "Usulan Perbaikan Rute Pendistribusian Ice Tube Menggunakan Metode Nearest Neighbor Dan Genetic Algorithm *," *J. Online Inst. Teknol. Nas.*, vol. 03, no. 04, pp. 401–410, 2015.

[8] C. S. Hutasoit, S. Susanty, and A. Imran, "Penentuan Rute Distribusi Es Balok Menggunakan Algoritma Nearest Neighbor dan Local Search (Studi kasus di PT X)," *Reka Integr.*, vol. 02, no. 02, pp. 268–276, 2014.

[9] K. K. Amozhita, A. Suyitno, and Mashuri, "Menyelesaikan Travelling Salesman Problem (TSP) dengan Metode Dua Sisi Optimal pada PT. Es Malindo Boyolali," *Unnes J. Math.*, vol. 8, no. 1, pp. 20–29, 2019, [Online]. Available: https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujm/article/view/14620

[10] H. Ruswan Suwarman, "Evaluasi Penerapan Evolutionary Algorithm Untuk Pemecahan Traveling Salesman Problem," *Sist. (Jurnal Ilm. Nas. Bid. Ilmu Tek.*, vol. 9, no. 01, pp. 28–34, 2021, doi: 10.53580/sistemik.v9i01.53.

[11] A. A. Fauzi and E. Sulistyono, "Traveling Salesman Problem Dalam Menyelesaikan Rute Optimal Pengiriman Air Minum Isi Ulang a B S T R a K," *J. Sintak*, vol. 1, no. 1, pp. 31–38, 2022, [Online]. Available: https://doi.org/

[12] R. G. Utomo, D. S. Maylawati, and C. N. Alam, "Implementasi Algoritma Cheapest Insertion Heuristic (CIH) dalam Penyelesaian Travelling Salesman Problem (TSP)," *J. Online Inform.*, vol. 3, no. 1, p. 61, 2018, doi: 10.15575/join.v3i1.218.

[13] L. Chandrakantha, "Using *Excel Solver* in Optimization Problems," no. 1963, pp. 42–49, 2014.

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462

[14] C. Jiang, "A reliable solver of euclidean traveling salesman problems with microsoft excel add-in tools for small-size systems," *J. Softw.*, vol. 5, no. 7, pp. 761–768, 2010, doi: 10.4304/jsw.5.7.761-768.

[15] A. M. Andrew, *Introduction to Evolutionary Computing*, vol. 33. 2004. doi: 10.1108/03684920410699216.