

Optimisasi Pengiriman Tandan Buah Segar Kelapa Sawit untuk Efisiensi Rute Menggunakan Integrasi Metode *Saving Matrix* dan Algoritma *Best First Search*

Fatimah Qibtiyah Rangkuti*, Syamsyida Rozi, Gusmanely Z

Universitas Jambi, Jambi, Kota Jambi, Indonesia

*e-mail: Fatimahrangkuti39@gmail.com

Diserahkan: 01/08/25 Diterima: 03/11/25 Diterbitkan: 06/11/25

Abstrak. Peningkatan permintaan pasar terhadap minyak kelapa sawit mendorong PT Perkebunan Nusantara (PTPN) IV Regional IV untuk melakukan efisiensi di berbagai rantai pasok, salah satunya adalah pada proses pengangkutan Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit. Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak PTPN IV, diperoleh informasi bahwa proses pengangkutan TBS kelapa sawit di perusahaan dilakukan secara intuisi atau tidak berdasarkan perhitungan matematis. Padahal melalui perhitungan matematis, dapat ditemukan proses dan rute pengangkutan TBS yang optimal dan efisien. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode *saving matrix* yang dilanjutkan dengan algoritma *best first search* untuk memperoleh proses dan rute pengangkutan TBS yang optimal. Penelitian ini menggunakan data primer berupa jalur yang dapat dilalui pada 11 kebun kelapa sawit PTPN IV. Hasil penelitian menunjukkan persentase penghematan jarak tempuh yang cukup signifikan setelah menerapkan metode *saving matrix* dan algoritma *best first search* dibanding jarak tempuh yang biasa dijalani oleh kendaraan, yaitu 0,89% hingga 77,72% tergantung lokasi kebun. Secara praktis, hasil penelitian ini dapat membantu perusahaan dalam merencanakan dan mengatur rute pengangkutan TBS berbasis data. Dengan demikian, perusahaan dapat mengurangi biaya operasional, waktu tempuh, serta konsumsi bahan bakar, sekaligus meningkatkan ketepatan pengiriman TBS ke lokasi pengolahan.

Kata kunci Algoritma *Best First Search*, Graf, Kelapa Sawit, Optimisasi, *Saving Matrix*.

Abstract. The increase in market demand for palm oil encourages PT Perkebunan Nusantara (PTPN) IV Regional IV to improve efficiency across various supply chains, one of which is the transportation process for Fresh Fruit Bunches (FFB). Based on interviews with employees of PTPN IV, it was found that the FFB transportation process was not based on mathematical calculations. In fact, by applying mathematical optimization methods, it is possible to find out the most optimal and efficient transportation processes and routes. Therefore, this study aimed to apply the saving matrix method, followed by the best first search algorithm, to obtain an optimal processes and routing system for FFB transportation. The research uses primary data in the form of accessible transportation routes across 11 oil palm estates owned by PTPN IV. The results showed a significant reduction in transportation distance after implementing the saving matrix method and best first search algorithm compared to the existing routes, ranging from 0.89% to 77.72%, depending on the estate location. Practically, the findings of this research can assist the company in planning and managing data-driven FFB transportation routes. Consequently, the company can reduce operational costs, travel time, and fuel consumption, while also improving the accuracy and timeliness of FFB deliveries to the processing facilities.

Keywords: *Best First Search Algorithm, Graph, Optimization, Palm Oil, Saving Matrix.*

Pendahuluan

Kelapa sawit merupakan salah satu sektor usaha yang menjanjikan karena hasil olahan dari kelapa sawit dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari seperti minyak sawit. Salah satu perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak di bidang kelapa sawit adalah PT Perkebunan Nusantara IV Regional IV atau yang lebih dikenal dengan PTPN IV Regional IV. Kantor pusat PTPN IV Regional IV terletak di Jl. Lingkar Barat Paal 10 Kota Baru, Kota Jambi. PTPN IV Regional IV menaungi 11 (sebelas) kebun kelapa sawit dan 6 (enam) pabrik kelapa sawit (PKS). Adapun 11 kebun tersebut adalah Kebun Batanghari, Bukit Cermin, Bunut, Durian Luncuk, Rimbo Satu, Rimbo Dua, Ophir, Pangkalan 50 Kota, Bukit Kausar, Lagan, dan Solok Selatan. Pada setiap kebun, terdapat beberapa afdeling, yaitu unit kecil yang bertugas untuk mengelola, mengawasi dan merawat kebun sawit. Sedangkan 6 PKS yaitu PKS Bunut, Rimbo Dua, Pengabuan, Aur Gading, Ophir, dan Solok Selatan.

Hasil panen tandan buah segar (TBS) kelapa sawit pada setiap kebun diangkut atau dikirim dari afdeling unit usaha pada kebun tersebut ke PKS yang telah ditetapkan untuk diolah. Pengangkutan TBS dari kebun ke PKS merupakan salah satu tahap krusial dalam rantai pasok sektor kelapa sawit. Sebab, kualitas dan kuantitas TBS yang tiba di pabrik akan sangat dipengaruhi oleh kecepatan pengangkutan, kondisi jalan dan kendaraan, serta pemilihan rute yang efisien. Bila pengangkutan terlambat atau rutenya tidak optimal, dapat terjadi buah yang terlalu matang atau terlambat diproses, yang kemudian berdampak pada produktivitas dan biaya operasional (Krisdiarto et al., 2017), (Yardani et al., 2025). Berdasarkan wawancara terhadap karyawan PTPN IV Regional IV, diperoleh informasi bahwa proses pengiriman TBS dari afdeling unit usaha ke PKS hanya menggunakan intuisi tentang rute yang dirasa dengan total jarak pendek. Dengan kata lain, belum ada perhitungan yang sistematis ataupun matematis mengenai rute terbaik pada pengiriman TBS. Di sisi lain, pertimbangan tentang kapasitas kendaraan pengangkut TBS dari afdeling unit usaha ke PKS juga sangat penting diperhatikan. Jika TBS pada suatu afdeling melebihi kapasitas kendaraan pengangkut, maka kendaraan akan melakukan *trip* normal yaitu mengirim TBS dari satu afdeling tersebut sebanyak kapasitas kendaraan dengan cara langsung ke PKS tanpa mengunjungi afdeling lainnya. Namun tentunya terdapat sisa TBS kelapa sawit yang belum terangkut melalui *trip* normal ini. Untuk mengakomodir sisa TBS yang belum diangkut ini, maka beberapa kendaraan perlu kembali ke afdeling tersebut. Dan keadaan ini, biasanya terjadi pada beberapa afdeling. Sisa TBS yang belum diangkut dari suatu atau beberapa afdeling bisa jadi kurang dari kapasitas kendaraan sehingga sisa TBS ini bisa digabung dari beberapa afdeling untuk diangkut ke PKS. Dengan demikian perjalanan kendaraan tidak hanya dari satu afdeling langsung menuju PKS, melainkan mengunjungi beberapa afdeling pada satu rute menuju PKS. Oleh karena itu, permasalahan yang ingin diselesaikan pada penelitian ini adalah menentukan afdeling-afdeling yang TBSnya bisa digabung untuk diangkut ke PKS dan kemudian menentukan rute terpendek terkait pengiriman TBS dari gabungan beberapa afdeling unit usaha ke PKS. Jika afdeling-afdeling yang TBSnya bisa digabung dapat diidentifikasi dengan baik, dan rute perjalanan kendaraan yang mengambil, mengangkut dan mengirimkan TBS dari afdeling-afdeling unit usaha ke PKS merupakan rute terpendek, maka proses pengangkutan dan pengiriman TBS tentunya menjadi lebih efisien dan optimal. Hal ini dapat mempengaruhi pengeluaran perusahaan terkait biaya perjalanan ataupun biaya administrasi lainnya terkait pengiriman TBS.

Salah satu penelitian yang berkaitan dengan optimisasi dalam masalah transportasi untuk pengiriman barang adalah berkaitan dengan pendistribusian raskin dengan metode *Branching* (Muhtarulloh et al., 2024). Penelitian tersebut berfokus pada biaya transportasi pengiriman barang dengan mempertimbangkan jumlah kendaraan yang perlu disewa untuk mengirimkan raskin. Sedangkan dalam penelitian ini, kendaraan telah tersedia dan lebih mempertimbangkan hal yang berkaitan dengan kemungkinan penggabungan dua lokasi pada satu rute yang sama supaya pengiriman barang lebih efisien dan diperoleh rute terpendek.

Salah satu metode yang bisa digunakan untuk menyelesaikan permasalahan efisiensi atau optimisasi pengangkutan dan pengiriman barang secara matematis yang mempertimbangkan kemungkinan penggabungan dua lokasi pada satu rute yang sama adalah metode *saving matrix*. Metode *saving matrix* ditemukan oleh Clarke dan Wright pada tahun 1964 sehingga metode ini disebut juga metode Clarke and Wright. Metode ini merupakan salah satu metode heuristik untuk menemukan solusi *feasible* dari permasalahan penghematan rute perjalanan. Konsep dari metode *saving matrix* membantu mengalokasikan pelanggan ke berbagai cluster, sambil mencoba meminimalkan total jarak yang ditempuh, serta menggabungkan dua rute menjadi satu rute sehingga mengurangi total jarak tempuh kendaraan (Sikdar & Pereira, 2018), (Evans & Minieka, 2017), (Simchi-Levi et al., 2014). Metode ini mampu menyelesaikan permasalahan dengan mempertimbangkan kapasitas pengiriman untuk setiap kendaraan yang mana setiap kendaraan memiliki kapasitas maksimum (Sepadyati et al., 2023). Metode *saving matrix* telah banyak diterapkan untuk mengatasi permasalahan yang berkaitan dengan penghematan, seperti menemukan rute distribusi bahan bakar minyak (BBM) sehingga diperoleh penghematan terkait banyak mobil tangki yang beroperasi, penggunaan BBM dan jarak tempuh (Kushariyadi et al., 2024), atau secara umum pendistribusian barang (Mirza & Irawan, 2020). Oleh karena itu, pada penelitian ini permasalahan penggabungan afdeling-afdeling yang TBSnya akan diangkut bersamaan pada sebuah kendaraan akan ditentukan melalui penerapan metode *saving matrix*.

Melalui metode *saving matrix*, dapat ditemukan hasil penggabungan dua afdeling yang akan ditempuh pada suatu rute yang sama, namun tidak secara eksplisit memberikan urutan optimal tentang titik kunjungan dalam satu rute yang telah terbentuk, sehingga perlu diterapkan suatu algoritma untuk menemukan rute terpendek (Sikdar & Pereira, 2018). Oleh karena itu, banyak penelitian menggabungkan atau mengintegrasikan metode *saving matrix* dengan algoritma pencarian rute seperti *nearest neighbor* ataupun *nearest insert* (Nuning Muhayyaroh et al., 2023), (Tyas et al., 2020), (Halim et al., 2023), (Mirza & Irawan, 2020). Metode *nearest neighbor* ataupun *nearest insert* yang bertujuan menemukan rute terpendek lebih mudah dilakukan melalui visualisasi dalam bentuk graf.

Graf adalah suatu struktur diskrit yang terdiri atas titik (verteks) serta garis penghubung (sisi) yang menghubungkan antar titik tersebut (Rosen, 2012), (Guichard, 2017). Banyak sekali permasalahan yang menjadi lebih mudah diselesaikan secara sistematis melalui pemodelan graf, seperti masalah pengaturan jadwal perkuliahan menerapkan algoritma pewarnaan graf (Rozi et al., 2022), masalah pembagian penugasan karyawan dan lokasi pemasaran produk Bank menerapkan algoritma pewarnaan graf (Wijaksono et al., 2023) dan masalah penugasan

karyawan melalui penemuan *matching* pada graf bipartit (Rangkuti & Rozi, 2024). Pada penelitian ini, setelah diperoleh hasil penggabungan titik untuk ditempuh pada rute yang sama sebagai produk dari metode *saving matrix*, maka berikutnya titik-titik yang akan dikunjungi dan titik tujuan dimodelkan dalam bentuk graf. Dan pemodelan graf tersebut digunakan untuk untuk menemukan rute terpendek, khususnya lintasan hamilton terpendek.

Lintasan Hamilton merupakan suatu lintasan yang melalui setiap titik pada graf tepat satu kali (Munir, 2016). (Rozi & Multhahadah, 2021) menerapkan algoritma *Depth First Search* (DFS) untuk menemukan lintasan hamilton dari model graf. Namun pada penelitian ini, akan diterapkan algoritma *Best First Search*. Pemilihan algoritma ini didasarkan pada karakteristik permasalahan dan telah terbukti efektif dalam berbagai studi terdahulu (Ginasta & Supriady, 2024). Algoritma *Best First Search* merupakan algoritma yang digunakan untuk menjelajahi titik-titik dalam graf dengan cara memilih titik yang terdekat dengan titik awal atau titik tujuan (Lumenta, 2014), dan algoritma ini akan memeriksa titik dengan jarak terpendek pada daftar titik-titik. Proses penemuan lintasan terpendek dengan algoritma ini dapat berpindah dari *Best First Search* menjadi DFS dan algoritma ini lebih efisien dibanding algoritma DFS (Prasetio et al., 2022). Keunggulan algoritma *Best First Search* adalah pencarian titik tidak akan menghabiskan banyak waktu untuk menjelajahi titik-titik dalam graf serta selalu mampu menemukan solusi (Lumenta, 2014).

Dengan demikian tujuan dari penelitian ini adalah menyelesaikan permasalahan penggabungan afdeling-afdeling yang sisa TBSnya akan diangkut bersamaan pada sebuah kendaraan serta menemukan rute terpendek berupa lintasan hamilton terpendek yang melalui afdeling-afdeling pada setiap kebun menuju PKS.

Metode Penelitian

Jenis data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang didapatkan dari PTPN IV Regional IV. Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data jarak antar afdeling dan jarak antara afdeling dengan PKS, data hasil produksi TBS kelapa sawit di masing-masing unit usaha dan data kapasitas kendaraan yang digunakan dalam proses angkutan TBS kelapa sawit. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Saving Matrix* dan algoritma *Best First Search*. Tahapan metode *saving matrix* yaitu (Pujawan & Geraldin, 2009):

1. Mengidentifikasi matriks jarak

Matriks jarak merupakan matriks yang memuat selisih antara masing-masing lokasi tujuan ataupun selisih antara lokasi tujuan dengan lokasi keberangkatan. Matriks jarak diperoleh secara langsung melalui PTPN IV Regional IV divisi PSR.

2. Mengidentifikasi matriks penghematan (*saving matrix*)

Matriks penghematan didapatkan dengan cara penggabungan rute dari lokasi tujuan yang memungkinkan kedalam satu rute pengiriman selama tidak melewati kapasitas maksimal dari kendaraan pengangkut. Untuk mendapatkan nilai dari matriks penghematan dapat digunakan rumus berikut:

$$S(a, b) = D(Pusat, a) + D(Pusat, b) - D(a, b) \quad (1)$$

Keterangan:

$S(a, b)$: Penghematan jarak

$D(Pusat, a)$: Jarak antara Pusat dengan

$D(\text{Pusat}, b)$: Jarak antara Pusat dengan b

$D(a, b)$: Jarak antara a dengan b

3. Mengalokasikan tujuan ke dalam rute kendaraan pengangkut

Pada tahapan ini beberapa rute akan digabungkan menjadi satu rute pengiriman hingga kapasitas volume a sisa muatan transportasi yang tersedia tercapai. Penggabungan ini dilakukan berdasarkan nilai penghematan jarak terbesar.

4. Mengurutkan tujuan pada rute yang sudah teridentifikasi

Setelah mengalokasikan tujuan ke dalam rute kendaraan, langkah selanjutnya adalah mengurutkan rute gabungan. Tujuan dari pengurutan rute ini adalah untuk meminimalkan jarak yang ditempuh. Pemilihan algoritma *Best First Search* pada tahapan ini didasari oleh karakteristik permasalahan mengenai lintasan hamilton untuk mendapatkan jarak yang optimal.

Tahapan penyelesaian algoritma *Best First Search* adalah sebagai berikut (Gupta et al., 2018)

1. Memilih suatu titik yang akan menjadi titik awal dan dimasukkan ke dalam *open list* yang isinya adalah titik-titik yang akan dikunjungi dan *closed list* yang berisi titik-titik yang sudah dikunjungi,
2. Jika *open list* kosong, maka berhenti, namun jika tidak kosong, lakukan langkah 3,
3. Memilih titik dengan nilai bobot terendah dari *open list* lalu memindahkan titik tersebut ke dalam *closed list*,
4. Melakukan ekspansi titik artinya cari penerus titik tersebut (tetangga dari titik tersebut).
5. Mengecek setiap titik-titik penerus (titik-titik yang bertetangga dengan titik terakhir yang dimasukkan ke dalam *closed list*) apakah sudah dikunjungi atau belum. Jika semua titik sudah dikunjungi maka tahapan dihentikan. Jika belum, melakukan langkah 6,
6. Untuk semua titik-titik penerus, perlu dicek bobot sisi-sisinya. Kemudian mengecek apakah titik tersebut sudah berada dalam *open list* atau *closed list*. Jika titik tersebut tidak berada pada *open list* ataupun *closed list*, maka titik tersebut dimasukkan ke dalam *open list*
7. Mengulangi langkah kedua hingga setiap titik dikunjungi.

Pencarian rute menggunakan algoritma *Best First Search* dapat dihentikan jika setiap titik sudah dikunjungi tepat satu kali.

Terdapat beberapa asumsi yang digunakan pada penelitian ini, yaitu :

1. Rute untuk jalur berangkat sama dengan rute untuk jalur kembali.
2. Semua sarana dan prasarana atau infrastruktur jalan yang ada di kebun dalam kondisi baik sehingga layak untuk dilalui oleh kendaraan yang digunakan.
3. Rute yang dilewati dapat dilalui oleh kendaraan yang digunakan oleh setiap afdeling.
4. Pengiriman ke PKS sudah terjadwal.
5. Setiap afdeling memiliki kendaraan pengangkut masing-masing dengan kapasitas homogen yaitu 8500kg.

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini yaitu, mengirim sisa muatan TBS kelapa sawit atau *trip* tambahan dikarenakan ada TBS kelapa sawit yang tidak bisa terangkut melalui *trip* normal yang disebabkan oleh kelebihan muatan.

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Analisis tentang kemungkinan penggabungan TBS dari beberapa afdeling atau penggabungan beberapa afdeling menjadi dalam rute yang sama, serta menentukan rute terpendek dari suatu afdeling mengunjungi afdeling lainnya menuju PKS akan dilakukan terhadap 11 kebun milik PTPN IV Regional IV.

Lokasi Kebun Ophir

Data mengenai rata-rata produksi TBS perhari di Kebun Ophir pada bulan Januari 2025 beserta sisa muatan TBS kelapa sawit disajikan pada Tabel 1. Sisa muatan merupakan total hasil produksi yang belum terangkut melalui *trip* normal. Sehingga sisa muatan dirumuskan:

$$\text{Sisa muatan} = \text{total produksi per hari} + \text{jumlah trip} \times 8500.$$

Tabel 1. Data produksi TBS pada Kebun Ophir dari setiap afdeling

Afdeling (AFD)	Rata-rata Produksi Perhari (Kg)	Jumlah Trip	Sisa Muatan (Kg)
1	29.473	3	$29.473 - 3(8500) = 3.973$
2	26.083	3	$26.083 - 3(8500) = 583$
3	56.157	6	$56.157 - 6(8500) = 5.157$
4	38.817	4	$38.817 - 4(8500) = 4.817$

Penerapan metode saving matrix adalah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi matriks jarak

Jarak antar afdeling ataupun PKS pada Kebun Ophir disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Jarak antar afdeling dan PKS pada Kebun Ophir (dalam Km)

AFD	PKS	AFD 1	AFD 2	AFD 3	AFD 4
1	1,85	0			
2	4,77	3,72	0		
3	13,58	12,53	8,80	0	
4	14,49	13,44	9,72	0,91	0

2. Mengidentifikasi matriks penghematan

Berdasarkan data jarak pada Tabel 1, kemudian dihitung penghematan jarak menggunakan formula (1). Penghematan jarak ini ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Matriks Penghematan Jarak di Kebun Ophir (dalam Km)

AFD	1	2	3	4
1	0			
2	2,9	0		
3	2,9	9,55	0	
4	2,9	5,82	27,16	0

3. Mengalokasikan tujuan pada rute kendaraan pengangkut

Berdasarkan matriks penghematan, selanjutnya akan dilakukan pengalokasian tujuan pada rute kendaraan berdasarkan nilai penghematan yang terbesar.

A. Nilai Penghematan Terbesar 1

Berdasarkan matriks penghematan diperoleh nilai tertinggi 27,16 Km yaitu pada penggabungan rute AFD 3 dan AFD 4. Namun akumulasi sisa muatan dari AFD 3 dan 4 tidak dapat digabungkan karena melebihi kapasitas kendaraan pengangkut, yaitu: $5157 + 4817 = 9974 \text{ Kg} > 8500 \text{ Kg}$.

B. Nilai Penghematan Terbesar 2

Berdasarkan matriks penghematan akan dilakukan pertimbangan penggabungan rute pada AFD 2 dan AFD 3 dengan nilai penghematan sebesar 9,55 Km dan akumulasi sisa muatan sebesar $583 + 5157 = 5740 \text{ Kg}$. Karena akumulasi ini kurang dari 8500 Kg, maka akan ada penggabungan rute untuk AFD 2 dan AFD 3.

C. Nilai Penghematan Terbesar 3

Berdasarkan matriks penghematan akan dilakukan pertimbangan penggabungan rute pada AFD 2 dan AFD 4 dengan nilai penghematan sebesar 5,82 Km. Namun, penggabungan rute tidak akan dipertimbangkan karena AFD 2 telah digabungkan dengan AFD 3. Penambahan AFD 4 pada penggabungan rute AFD 2 dan AFD 3 memiliki akumulasi sisa muatan melebihi 8500 Kg sehingga tidak akan dilakukan penggabungan rute karena pelanggaran kapasitas kendaran pengangkut.

D. Nilai Penghematan Terbesar 4

Berdasarkan matriks penghematan akan dilakukan pertimbangan penggabungan rute pada AFD 1 dan AFD 2 dengan nilai penghematan sebesar 2,9 Km. Namun, penggabungan rute tidak akan dipertimbangkan karena AFD 2 telah digabungkan dengan AFD 3. Penambahan AFD 1 pada penggabungan rute AFD 2 dan AFD 3 memiliki akumulasi sisa muatan melebihi 8500 Kg sehingga tidak akan dilakukan penggabungan rute karena pelanggaran kapasitas kendaran pengangkut.

E. Nilai Penghematan Terbesar 5

Berdasarkan matriks penghematan akan dilakukan pertimbangan penggabungan rute pada AFD 1 dan AFD 4 dengan nilai penghematan sebesar 2,9 Km. Namun, penggabungan rute tidak akan dipertimbangkan karena akumulasi sisa muatan melebihi kapasitas kendaraan sehingga tidak akan dilakukan penggabungan rute karena pelanggaran kapasitas kendaran pengangkut.

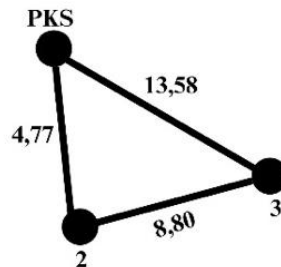
F. Nilai Penghematan Terbesar 6

Berdasarkan matriks penghematan akan dilakukan pertimbangan penggabungan rute pada AFD 1 dan AFD 3 dengan nilai penghematan sebesar 2,9 Km. Namun, penggabungan rute tidak akan dipertimbangkan karena AFD 3 telah digabungkan dengan AFD 2. Penambahan AFD 1 pada penggabungan rute AFD 2 dan AFD 3 memiliki akumulasi sisa muatan melebihi 8500 Kg sehingga tidak akan dilakukan penggabungan rute karena pelanggaran kapasitas kendaran pengangkut.

Berdasarkan penerapan metode *saving matrix* dari tahapan pertama hingga ketiga diperoleh 1 rute tambahan yang akan dilakukan oleh kendaraan, yaitu penggabungan AFD 2 dan AFD 3. Sedangkan sisa muatan pada AFD 1 dan AFD 4 dilakukan sesuai *trip* normal.

4. Menemukan rute terpendek untuk penggabungan afdeling

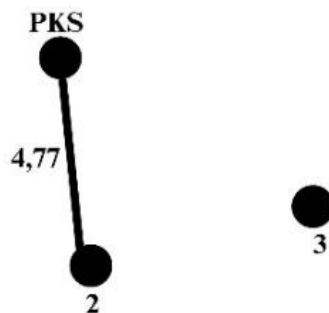
Berdasarkan tahapan sebelumnya, sisa muatan pada afdeling 2 dan afdeling 3 akan digabungkan. Oleh karena itu, akan ditemukan lintasan Hamilton untuk menempuh perjalanan yang mengunjungi afdeling 2 dan afdeling 3 menuju PKS menggunakan algoritma *Best First Search*. Model graf dari titik afdeling 2, afdeling 3 dan PKS disajikan pada Gambar 1, dengan titik 2 menyatakan lokasi afdeling 2, titik 3 menyatakan lokasi afdeling 3, dan PKS menyatakan lokasi PKS. Bobot pada sisi graf menyatakan jarak tempuh (dalam km) antar titik.



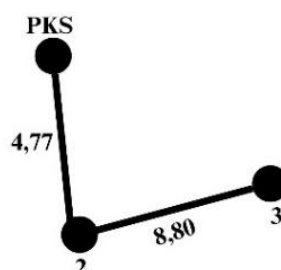
Gambar 1. Model graf di kebun Ophir

Penerapan algoritma *Best First Search* di Kebun Ophir adalah sebagai berikut:

1. Menetapkan titik 2, 3 dan PKS masuk dalam *open list*, dan menetapkan PKS sebagai titik awal sehingga dimasukkan kedalam *closed list*
2. Mengunjungi titik 2 karena bobot sisi antara titik PKS dengan titik 2 lebih kecil dibanding bobot sisi antara titik PKS dengan titik 3. Sehingga titik 2 dimasukkan ke dalam *closed list*



3. Tersisa hanya titik 3 yang belum dikunjungi, maka langkah berikutnya adalah mengunjungi titik 3 sehingga titik 3 dimasukkan ke dalam *closed list*. Dengan demikian, tidak ada lagi titik dalam *open list*, atau dengan kata lain semua titik telah dikunjungi. Dengan demikian penerapan algoritma *Best First Search* dihentikan untuk kasus ini. Karena jarak keberangkatan sama dengan jarak kembali dan perjalanan diawali pada suatu afdeling dan berakhir di PKS. maka diperoleh urutan lokasi yang akan dikunjungi pada rute ini adalah afdeling 3 → afdeling 2 → PKS dengan total jarak sebesar 13,57 Km.



Terdapat 3 rute akhir yang diperoleh untuk mengangkut sisa muatan di Kebun Ophir, yaitu:

1. Rute 3 → 2 → PKS dengan total jarak 13,57 Km, yang artinya dari afdeling 3, kemudian mengunjungi afdeling 2 kemudian ke PKS.
2. Rute 1 → PKS dengan total jarak 1,85 Km, yang dari afdeling 1 langsung ke PKS tanpa perlu mengunjungi afdeling lain.
3. Rute 4 → PKS dengan total jarak 14,49 Km, yang dari afdeling 4 langsung ke PKS tanpa perlu mengunjungi afdeling lain

Setelah dilakukan proses perhitungan menggunakan metode *saving matrix* dan algoritma *best first search* untuk semua kebun di PTPN IV Regional IV diperoleh rute akhir pada Tabel 4. Persentase penghematan jarak tempuh dihitung berdasarkan perbandingan jarak tempuh rute melalui integrasi metode *saving matrix* dan algoritma *Best First Search* dengan jarak tempuh kendaraan dari setiap afdeling ke PKS. Berdasarkan Tabel 4 terlihat bahwa persentase penghematan yang diperoleh cukup signifikan. Pengurangan jarak tempuh yang signifikan dapat menekan biaya bahan bakar, mengurangi keausan kendaraan, serta mempercepat waktu pengiriman TBS ke PKS. Efisiensi waktu juga berdampak pada kualitas TBS yang lebih terjaga karena waktu tempuh yang lebih singkat, sehingga potensi rendemen minyak sawit dapat ditingkatkan (Krisdiarto et al., 2017). Dalam jangka panjang, penerapan sistem rute teroptimasi ini dapat berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas dan profitabilitas perusahaan.

Tabel 4. Persentase Perbandingan Jarak Tempuh Awal dan Akhir

Kebun	Rute	Jarak tempuh awal (Km)	Jarak tempuh akhir (Km)	Jumlah penghematan jarak (Km)	Persentase penghematan
Ophir	3 → 2 → PKS	18,35	13,57 Km	4,78	26,04%
Bunut	6 → 4 → 5 → PKS	28,09	23,05 Km	5,04	17,94%
	1 → 2 → PKS	11,73	8,6	3,13	26,68%
Tanjung Lebar	1 → 2 → PKS	16,51	12,88	3,63	21,98%
Lagan	2 → 3 → 4 → PKS	62,11	27,83	34,28	55,19%
Durian	6 → 5 → PKS	53,8	21,4	32,4	60,22%
Luncuk	2 → 3 → PKS	28,5	16,6	11,9	41,75%
Bukit	7 → 6 → PKS	30,26	12,65	17,61	58,19
Kausar	8 → 4 → PKS	18,88	14,67	4,21	22,29
Pangkalan 50 Kota	3 → 2 → PKS	46,22	24,73	21,49	46,49%
	7 → 6 → PKS	83,29	46,8	36,49	43,81%

Solok	4 → 3 → PKS	26,59	21,33	5,26	19,78%
Selatan	5 → 2 → PKS	11,14	10,14	1	0,89%
Batanghari	1 → 3 → PKS	62,09	13,83	48,26	77,72%
Rimbo	3 → 2 → PKS	44,22	22,2	20	45,22%
Satu	1 → 5 → PKS	35,55	26,24	9,31	26,18%
Rimbo Dua	2 → 3 → PKS	26,48	13,83	12,65	47,44%

Kesimpulan dan Saran

Data rata-rata produksi TBS kelapa sawit dan sisa muatan TBS kelapa sawit pada bulan Januari 2025 yang diperoleh dari PTPN IV Regional IV digunakan untuk menentukan rute terbaik dalam pengangkutan sisa muatan menggunakan metode *saving matrix* dan algoritma *best first search*. Berdasarkan hasil analisis, integrasi metode *saving matrix* dan algoritma *best first search* mampu memberikan hasil jarak tempuh kendaraan yang efisien, yaitu yang awalnya kendaraan melakukan perjalanan dari setiap afdeling menuju PKS menjadi penggabungan beberapa lokasi afdeling ke dalam suatu rute yang sama sejauh memenuhi kapasitas kendaraan serta memberikan urutan titik-titik lokasi yang dikunjungi. Dengan demikian, diperoleh penghematan jarak tempuh kendaraan untuk mengangkut TBS yang masih tersisa (belum terangkut dari *trip* normal) sebagaimana yang disajikan pada Tabel 4. Untuk penelitian lebih lanjut, disarankan untuk mempertimbangkan variabel lain seperti waktu tempuh aktual, kondisi jalan, kapasitas muatan kendaraan, atau biaya operasional secara keseluruhan agar model yang dihasilkan menjadi lebih komprehensif.

Daftar Pustaka

- Evans, J. R., & Minieka, E. (2017). Optimization algorithms for networks and graphs, Second edition, revised and expanded. In *Optimization Algorithms for Networks and Graphs, Second Edition, Revised and Expanded*. <https://doi.org/10.1201/9780203744871>
- Ginasta, N. G., & Supriady, S. (2024). Implementasi Pencarian Rute Terbaik untuk Mengetahui Lokasi Tempat Parkir pada Sistem E-Parking Menggunakan Algoritma Dijkstra dan Best First Search: Implementation of the Best Route Search to Find Out the Location of Parking Places in the E-Parking System. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 4(2), 607–613.
- Guichard, D. (2017). *An Introduction to Combinatorics and Graph Theory*. Whitman College. <https://doi.org/10.5860/choice.29-3354>
- Gupta, K. G., Divya, C., Ramesh, V., & Benarji, T. (2018). *Introduction of Artificial Intelligence*. Shanlax Publications.
- Halim, J., Heryanto, R. M., & Liputra, D. T. (2023). Penentuan Rute Distribusi Menggunakan Metode Savings Matrix dengan Algoritma Nearest Insert, Nearest Neighbour, dan Farthest Insert pada UMKM Peralatan Plastik. *Go-Integratif: Jurnal Teknik Sistem Dan Industri*. <https://doi.org/10.35261/gijtsi.v4i01.8727>
- Krisdiarto, A. W., Sutiarto, L., & Widodo, K. H. (2017). Optimasi Kualitas Tandan Buah Segar Kelapa Sawit dalam Proses Panen-Angkut Menggunakan Model Dinamis. *Agritech*, 37(1), 102. <https://doi.org/10.22146/agritech.17015>

- Kushariyadi, Sono, Adi, T. W., Eka Aristantia, S., & Aviciena Taufiqurrahman, M. (2024). Analisis Rute Distribusi BBM di Pertashop Menggunakan Metode Saving Matrik. *Jurnal Sistim Informasi Dan Teknologi*, 5, 51–56. <https://doi.org/10.60083/jsisfotek.v5i4.332>
- Lumenta, A. S. M. (2014). Perbandingan Metode Pencarian Depth-First Search, Breadth-First Search Dan Best-First Search Pada Permainan 8-Puzzle. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 3(1), 11–16. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/elekdankom/article/view/4285>
- Mirza, A. H., & Irawan, D. (2020). Implementasi Metode Saving Matrix Pada Sistem Informasi Distribusi Barang. *Jurnal Ilmiah Matrik*, 22(3), 316–324. <https://doi.org/10.33557/jurnalmatrik.v22i3.1050>
- Muhtarulloh, F., Rahayu, N. F., Nuraiman, D., & Sukaesih, E. (2024). Optimasi masalah transportasi yang mengandung biaya variabel dan biaya tetap menggunakan metode Branching. *Pythagoras: Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika*, 13(2), 180–191. <https://doi.org/10.33373/pyth.v13i2.5840>
- Munir, R. (2016). *Matematika Diskrit* (Rev ke 5). Informatika Bandung.
- Nuning Muhayyaroh, Siswanto, B. N., & Dewi, N. K. (2023). Perancangan Sistem Penentuan Rute Dan Optimasi Biaya Pendistribusian Barang Dengan Metode Saving Matrix Dan Nearest Insertion Berbasis Vba Excel. *Jurnal Pabean.*, 5(2), 146–159. <https://doi.org/10.61141/pabean.v5i2.423>
- Prasetio, B. H., Ichsan, M. H. H., Fitriyah, H., & Widasari, E. R. (2022). *Teknologi Sistem Cerdas dan Penerapannya pada Embedded System*. Universitas Brawijaya Press.
- Pujawan, I. N., & Geraldin, L. H. (2009). House of risk: A model for proactive supply chain risk management. *Business Process Management Journal*. <https://doi.org/10.1108/14637150911003801>
- Rangkuti, F., & Rozi, S. (2024). Penugasan Pekerjaan Karyawan di PT Perkebunan Nusantara IV Regional IV. *Jurnal Informasi, Sains Dan Teknologi*, 7(2), 168–178. <https://doi.org/10.55606/isaintek.v7i2.264>
- Rosen, K. H. (2012). *Discrete Mathematics and Its Applications* (7th ed.). McGraw-Hill.
- Rozi, S., & Multhahadah, C. (2021). Rute Terpendek Untuk Pengangkutan Sampah Dengan Pendekatan Lintasan Hamilton. *E-Jurnal Matematika*, 10(2), 115. <https://doi.org/10.24843/mtk.2021.v10i02.p330>
- Rozi, S., Rarasati, N., & Syelly, R. (2022). Efisiensi Pengaturan Jadwal Perkuliahan Menggunakan Pendekatan Pewarnaan Graf. *Jurnal Euler*, 10(1), 26–36. <https://doi.org/https://doi.org/10.34312/euler.v10i1.14034>
- Sepadyati, N., Hariono, R., Xaverius Nelson Thesman, F., Vincent, H., Renard Leuw, R., & Edric, W. (2023). Optimalisasi Rute Pengiriman Menggunakan Saving Matrix: Sebuah Studi Kasus. *Jurnal Metris*, 24(2023), 17–24. <http://ejournal.atmajaya.ac.id/index.php/metris>
- Sikdar, A., & Pereira, V. (2018). Business and management practices in South Asia: A collection of case studies. In *Business and Management Practices in South Asia: A Collection of Case Studies*. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-1399-8>

- Simchi-Levi, D., Chen, X., & Bramel, J. (2014). The logic of logistics: Theory, algorithms, and applications for logistics management. In *Springer Series in Operations Research and Financial Engineering*. <https://doi.org/10.2307/3010573>
- Tyas, R. A., Dzulqarnain, S., & Aini, Q. (2020). Optimasi Jalur Distribusi Pada Kopkar Pt. Ykk Ap Indonesia Dengan Metode Saving Matrix. *Sistemasi*, 9(2), 215. <https://doi.org/10.32520/stmsi.v9i2.689>
- Wijaksono, M. A. A., Rozi, S., & Rarasati, N. (2023). Implementasi algoritma Welch-Powell pada pembagian penugasan karyawan dan lokasi pemasaran pinjaman BRI Cabang Kuala Tungkal. *PYTHAGORAS: JURNAL PROGRAM STUDI PENDIDIKAN MATEMATIKA*. <https://doi.org/10.33373/pythagoras.v12i2.5429>
- Yardani, J., Ulimaz, A., Yuliyanti, W., Permatasari, N., & Noor, M. (2025). *Pengaruh Penumpukan Bahan Baku Tandan Buah Segar Terhadap Mutu Crude Palm Oil Berdasarkan Kadar Air dan Asam*. 11, 151–159.