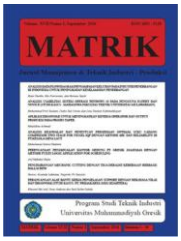
Matrik : Jurnal Manajemen & Teknik Industri – Produksi
Volume XXVI, No.1, September 2025, Halaman 87 - 98

p-ISSN: 1693-5128, e-ISSN : 2621-8933
doi: 10.350587/Matrik v26i1.10214

MATRIK
Jurnal Manajemen dan Teknik Industri-Produksi
Journal homepage: http://www.journal.umg.ac.id/index.php/matriks



Penetapan Harga Jual dengan Pendekatan *Mixed Bundling Pricing* pada Produk Egrek Digital Merah Putih

Shafa Fauziyah Fatin*, Erwin Widodo, Riski Putri Pribadi
Program Studi Teknik Sistem dan Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
ITS Kampus Keputih Surabaya 60111, Indonesia
Email : shafafauziyahfatin@gmail.com
*Corresponding Author

INFO ARTIKEL

doi: 10.350587/Matrik v26i1.10214

Jejak Artikel :
Upload artikel
04 Juli 2025
Revisi oleh reviewer
22 Juli 2025
Publish
30 September 2025

Kata Kunci :
Algoritma genetika, Egrek, Mixed Bundling Pricing, Multiple Product, Sawit

ABSTRAK

Penetapan harga krusial untuk profitabilitas perusahaan di pasar yang sensitif harga dan kompetitif. Strategi *mixed bundling pricing* inovatif karena menjual produk satuan dan bundel diskon, memberikan nilai tambah serta diferensiasi. Implementasi *full mixed bundling* menantang akibat kombinasi produk yang harus diberi harga meningkat secara eksponensial seiring bertambahnya jumlah produk. Permasalahan lain meliputi diskon valuasi yaitu persepsi nilai konsumen menurun pada produk bundel, serta minimnya analisis biaya produksi untuk *physical goods* dalam literatur *bundling* sebelumnya. Jurnal ini menyajikan pendekatan baru untuk studi kasus optimasi harga *mixed bundling* pada produk agroindustri Egrek Digital Merah Putih. Berbeda dengan mayoritas literatur yang fokus pada dua produk, penelitian ini mengembangkan model untuk multikomponen (tiga produk), mempertimbangkan *valuation discount* dan *cost*. Optimasi *profit* dilakukan menggunakan metaheuristik *Algoritma Genetika*. Hasil menunjukkan kinerja *Algoritma Genetika* yang sangat baik pada dua produk, namun konvergensi optimal global untuk tiga produk masih menantang. Model ini merekomendasikan strategi optimal yang realistis bagi penjual, mengkonfirmasi bahwa *mixed bundling* secara signifikan meningkatkan *profit* meskipun terjadi diskon valuasi.

ABSTRACT

Pricing is crucial for company profitability in price-sensitive and competitive markets. The mixed bundling pricing strategy is innovative as it sells individual products and discounted bundles, providing added value and differentiation. Implementing full mixed bundling is challenging due to the exponentially increasing combinations of products that must be priced as product quantity increases. Other issues include valuation discount, where consumers' perceived value of bundled products decreases, and the limited analysis of production costs for physical goods in previous bundling literature. This journal presents a new approach for a case study on mixed bundling price optimization for the agroindustrial product Egrek Digital Merah Putih. Unlike most literature that focuses on two products, this research develops a model for multicomponent products (three products), considering valuation discount and cost. Profit optimization is performed using the Genetic Algorithm metaheuristic. Results show very good Genetic Algorithm performance for two products, but global optimal convergence for three products remains challenging. This model recommends an optimal and realistic strategy for sellers, confirming that mixed bundling significantly increases profit despite the occurrence of valuation discount.

Authors retain copyright and grant the journal right of first publication with the work simultaneously licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License **Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Gresik, Jawa Timur, Indonesia**

1. Pendahuluan

Harga adalah jumlah uang yang ditagihkan atas suatu produk atau jasa, dan jumlah nilai yang ditukar oleh konsumen untuk mendapatkan utilitas atau manfaat dari memiliki atau menggunakan suatu produk atau jasa. Penetapan harga merupakan salah satu hal terpenting ketika pengambil keputusan ingin memaksimalkan keuntungan perusahaan [1]. Salah satu upaya penjual dalam menarik lebih banyak *customer* yaitu dengan menjual produk pelengkap secara bersama-sama dengan harga diskon [2]. *Bundling* merupakan penjualan dua atau lebih produk dalam satu paket ke pelanggan dengan potongan harga, di mana menawarkan nilai tambah untuk pelanggan dan membedakan retailer tersebut dari kompetitor yang lain [3].

Di samping itu, bagaimana penentuan strategi bundling untuk meningkatkan pengaruh produk, memaksimalkan keuntungan, dan meningkatkan utilitas konsumen merupakan masalah utama bagi perusahaan [4]. Hal pertama yang dipertimbangkan yaitu jumlah komponen (N) yang dapat dibundel. Strategi *full mixed bundling* merupakan strategi yang paling menantang dan sulit untuk diterapkan karena jumlah total kombinasi paket (yaitu bundel dan komponen satuannya) yang perlu diberi harga sama dengan $2^N - 1$ [5]Selain jumlah *decision variable* yang eksponensial, strategi *mixed bundling* juga melibatkan jumlah *constraint* harga yang eksponensial, karena harga bundel yang khusus perlu ditawarkan dengan harga yang lebih rendah daripada jumlah harga komponennya (jika tidak, pembeli dapat merakit bundel untuk diri mereka sendiri). Karena alasan-alasan ini, mayoritas literatur bundling cenderung membahas bundel untuk dua produk, terutama untuk kemudahan analisis [5]. Masalah berikutnya yaitu mengenai valuasi konsumen. Dengan kata lain, bundling itu sendiri tidak menciptakan nilai tambah bagi konsumen, oleh karena itu diskon harus ditawarkan untuk memotivasi setidaknya beberapa konsumen untuk membeli bundel tersebut. Namun, di samping menciptakan nilai tambah, diskon pada produk bundel juga membuat valuasi produk menjadi menurun. Ini membuat perhitungan harga bundel semakin rumit. Heeler mengungkapkan bahwa konsumen berharap dapat menghemat uang ketika mereka diberikan penawaran bunding, dan studi empiris mereka menunjukkan bahwa konsumen menurunkan valuasi mereka terhadap produk dalam paket, tidak seperti situasi ketika mereka membeli komponen secara terpisah [6]. Guidon menemukan bahwa penilaian konsumen lebih rendah ketika produk ditawarkan dalam bentuk paket, bukan sebagai produk yang berdiri sendiri [7]. Chen memulai penelitian efek valuasi diskon pada bundling dengan menguji bagaimana diskon valuasi memengaruhi optimasi keputusan dalam saluran distribusi [8]. Diskon valuasi mengacu pada fenomena di mana diskon bundel secara negatif memengaruhi persepsi konsumen terhadap valuasi komponen yang didiskon. Perlu dicatat bahwa sebagian besar artikel sebelumnya tentang penilaian konsumen yang dipengaruhi oleh penjualan *bundling* didasarkan pada bukti empiris. Penelitian sebelumnya gagal mengembangkan model analitis untuk membahas bagaimana diskon valuasi mempengaruhi optimalitas *bundling*. Penelitian yang dilakukan Chen berhasil mengungkap pengaruh diskon valuasi pada strategi bundling dan mengembangkan model analitisnya [9]. Raj memperkenalkan konsep *Diminishing Reservation Price* (DRP) dan *loss aversion* pada bundel B2B, menunjukkan dampak negatifnya pada *profit* dan harga. Studi berfokus pada produk perusahaan gas alam dan melihat dampak diskon valuasi, tetapi terbatas pada dua produk [10]. Sebagian besar penelitian yang mendalam tentang *bundling pricing* membatasi diri pada 2 produk untuk menjaga ketertelusuran analitis. Penelitian multikomponen dengan valuasi diskon memerlukan analisis lebih lanjut.

Penetapan harga bundling merupakan masalah kompleks yang membutuhkan alat optimasi tingkat lanjut. Page dalam penelitiannya mengkombinasikan *Constrained*

Authors retain copyright and grant the journal right of first publication with the work simultaneously licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Gresik, Jawa Timur, Indonesia

p-ISSN: 1693-5128, e-ISSN : 2621-8933
doi: 10.350587/Matrik v26i1.10214

Multinomial Logit (CMNL) dan *Particle Swarm Optimization (PSO)* untuk memaksimalkan keuntungan tiap perusahaan dari penjualan bundel [11]. Namun, dalam penggunaan CMNL ini memerlukan lebih banyak upaya untuk mengestimasi parameternya dan dapat mengestimasi *profit* secara berlebihan dalam beberapa solusi yang layak. Dalam penelitian tersebut, kinerja PSO sangat bergantung pada pengaturan *hyperparameter* (c0, c1, dan c2) dan ukuran *swarm*. PSO tidak selalu berhasil menemukan ekuilibrium di semua percobaan. Misalnya, pada kasus dua perusahaan dengan satu bundel per perusahaan. Raj menggunakan optimasi numerik heuristik Nelder-Mead untuk permasalahan *bundling* B2B [12]. Ini lebih baik dari pada metode Naive, namun pendekatan optimasi Nelder-Mead dapat terjebak jika fungsi tujuan memiliki daerah yang datar *(flat region)* dan membutuhkan *multiple start* untuk menemukan global optimum. Jesri dalam penelitiannya menggunakan Algoritma Genetik untuk menentukan pemilihan bundel dan hari pengirimannya untuk segmen pasar baru [13]. Hasil komputasi menunjukkan bahwa GA memiliki kinerja yang baik, terutama pada masalah dengan dimensi yang lebih besar. GA dapat memberikan solusi hingga 24% lebih baik daripada CPLEX untuk beberapa kasus , dan dalam sekitar 40% kasus, GA mencapai solusi yang hampir sama dengan CPLEX dalam waktu kurang dari separuh waktu CPLEX. Namun, penelitian tersebut lebih fokus pada permasalahan kombinatorial *bundling*. Untuk penetapan harga *bundling* menggunakan Algoritma Genetik yang lebih berfokus pada permasalahan kontinus perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Kebutuhan alat panen dengan jumlah besar, khususnya egrek, tidak lepas dari area Tanaman Menghasilkan (TM) kelapa sawit Indonesia yang memiliki luas 12,358,266 Ha atau 82.4% dari luas area kelapa sawit keseluruhan. Hal tersebut menandakan bahwa 84.4% lahan sawit Indonesia produktif dan siap panen. Namun, sebagian besar egrek yang beredar di pasar Indonesia masih merupakan hasil impor dari negara Malaysia [14]. Egrek Digital Merah Putih merupakan alat panen kelapa sawit yang terdiri dari beberapa komponen yang saling terintegrasi, yaitu bilah egrek, galah egrek, dan *ripeness detector*. Pada saat ini, penjualan egrek sebagian besar masih dijual dalam bentuk perkomponen. Maka dari itu, pendekatan yang dilakukan yaitu penetapan harga dengan penjulan dengan *mixed bundling pricing.*

Strategi *bundling* egrek digital memiliki performa baik dalam menarik pelanggan namun harga jual produk *bundling* harus dioptimalkan agar perusahaan juga tetap mendapat keuntungan dari penjualan. Maka dari itu, untuk mengisi *gap* dari studi literatur sebelumnya dan menyeleaikan permasalahan penjualan egrek digital merah putih, penelitian ini mengembangkan model *mixed bundling pricing* untuk multikomponen dengan mempertimbangkan valuasi diskon yang dioptimasi dengan metaheuristik Algoritma Genetik.

2. Metode Penelitian

Pengambilan data dilakukan dengan metode *convenience sampling* yaitu pengambilan sample berdasarkan kemudahan aksesabilitas dan kedekatan dengan peneliti yang dilakukan dengan wawancara. Target responden yaitu petani kelapa sawit yang panen menggunakan egrek dan PT X (produsen egrek digital). Biaya produksi untuk bilah premium, galah, dan *ripeness detector* merupakan data sekunder yang diambil dari peneliti yang merancang *Ripeness Detector*. Berikut merupakan data yang diambil dalam penelitian ini.

Tabel 1. Data yang Diambil Berdasarkan Parameter Penelitian

Parameter	Deskripsi	Jenis Data (Satuan)	Jawaban
M	*Market Demand*	Data Rasio (Unit)	Dalam Unit
v_i	Nilai Maksimum yang dirasakan konsumen	Data Rasio (Rupiah)	Dalam Rupiah

Authors retain copyright and grant the journal right of first publication with the work simultaneously licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License **Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Gresik, Jawa Timur, Indonesia**

Para meter	Deskripsi	Jenis Data (Satuan)	Jawaban
	terhadap produk (*Willingness to Pay)* i(i = M,N,O)		
C_i	Biaya produksi produk i(i = M,N,O)	Data Rasio (Rupiah)	Dalam Rupiah

Data pada Tabel 1 yaitu *market demand* dikumpulkan dengan memberikan pertanyaan pada responden dengan memberikan pertanyaan mengenai banyaknya bilah dan galah yang dibeli per tahunnya dan perkiraan berapa jumlah *ripeness detector* yang akan dibeli oleh responden per tahunnya. Misal, responden membeli bilah 2 unit per tahunnya, galah 2 unit pertahunnya, dan perkiraan *ripeness detector* yang akan dibeli yaitu 1 unit pertahunnya. Lalu, dari semua responden dijumlahkan untuk kebutuhannya dan akan menjadi data *market demand (M).* Data *willingness to pay* dikumpulkan dengan memberikan pertanyaan kepada responden mengenai harga yang cocok untuk bilah, galah, dan *ripeness detector* dijual di pasar. Data *cost* dikumpulkan dengan memberikan pertanyaan kepada narasumber yaitu pemanufaktur produk Egrek Digital Merah Putih untuk produk bilah dan galah, serta narasumber pengembang alat *ripeness detector* berupa biaya produksi yang dikeluarkan.

Setelah itu, dilakukan pengembangan model matematis yang semula model fokus pada *Mixed Bundling Pricing* dengan memperhatikan valuasi diskon untuk dua produk, dikembangkan menjadi 3 produk. Berikut merupakan komponen model matematisnya.

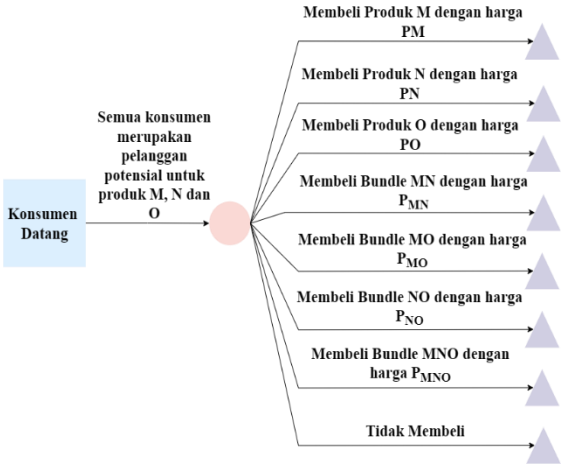
Tabel 2 Komponen Model *Mixed Bundling* dengan Valuasi Dsikon 3 Produk

Objektif	
π	*Profit* dari produk M,N,O dengan *mixed-joint bundling.*
Parameter	
θ_i	Preferensi konsumen terhadap produk i(i = M,N,O), berdistribusi uniform [0,1]
v_i	Nilai Maksimum yang dirasakan konsumen terhadap produk (*WTP)* i(i = M,N,O)
u_i	Utilitas konsumen terhadap produk*)* i(i = M,N,O)
γ	Valuasi sisa konsumen terhadap priduk *bundle* pada skenario *bundling*
C_i	Biaya produksi produk i(i = M,N,O)
M	Jumlah pelanggan potensial (*Market Demand)*
Decision Variables	
p_i	Harga produk i pada skenario *mixed bundling* i(i = M,N,O)

Bentuk *bundle* dapat berupa *pure bundling*, *mixed bundling*, atau *unbundling (pure component).* Ini menggambarkan strategi organisasi untuk membuat paket produk. *"Pure bundling"* melibatkan perusahaan yang hanya menjual bundel, *"pure component"* yaitu perusahaan hanya menjual produk secara terpisah, serta *mixed bundling* berarti perusahaan menjual produk dalam bentuk bundel dan juga satuan produk secara terpisah [15]. Penelitian ini mengasumsikan penjualan dengan *mixed bundling* yang merupakan penjualan langsung *(direct selling)*. Huruf M melambangkan produk bilah, N yaitu produk galah, dan N merupakan *ripeness detector.* Produk akan dijual secara terpisah, bundel dua produk, maupun *full* untuk bundel tiga produk. Dari jumlah seluruh pelanggan potensial, akan diketahui proporsi yang melakukan pembelian untuk satu produk, dua produk bundel, proporsi pelanggan yang akan melakukan pembelian secara bundel lengkap, dan pelanggan yang tidak tertarik untuk melakukan pembelian. Berikut merupakan skema penjualan *mixed bundling* dalam penelitian ini.

Authors retain copyright and grant the journal right of first publication with the work simultaneously licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License **Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Gresik, Jawa Timur, Indonesia**

p-ISSN: 1693-5128, e-ISSN : 2621-8933
doi: 10.350587/Matrik v26i1.10214



Gambar 1 Skema Penjualan dalam *Mixed Bundling* untuk 3 Produk

Model matematis *mixed bundling pricing* yang memepertimbangkan valuasi diskon dikembangkan untuk 3 produk. Potongan harga menghasilan *valuation discount*, jadi *Mixed Bundling* menurunkan *consumer valuation* dari produk. $1-\gamma$ merepresentasikan *valuation discount,* dimana $(0<\gamma<1)$ merepresentasikan *remaining valuation*. Dari perspektif kosnumen, valuasi mereka terhadap produk i menurun dari v_i ke γv_i. Ketika membeli produk secara satuan dan *bundle*, konsumen mendapatkan utilitas dengan persamaan sebagai berikut.

$$
\begin{aligned}
U_M &= (\gamma\theta_M v_M) - p_M \\
U_N &= (\gamma\theta_N v_N) - p_N \\
U_O &= (\gamma\theta_O v_O) - p_O \\
U_p &= (\gamma\theta_p v_p) - p_p \\
U_{MN} &= \gamma(\theta_M v_M + \theta_N v_N) - p_{MN} \\
U_{MO} &= \gamma(\theta_M v_M + \theta_O v_O) - p_{MO} \\
U_{NO} &= \gamma(\theta_N v_N + \theta_O v_O) - p_{NO} \\
U_{MNO} &= \gamma(\theta_M v_M + \theta_N v_N + \theta_o v_o) \\
&\quad - p_{MNO}
\end{aligned}
$$

Preferensi konsumen terhadap harga produk satuan dibandingkan dengan valuasi maksimum yang didiskon diwakili dengan θ_i^{γ} .

$$
\begin{aligned}
\theta_M^{\gamma} &= p_M/(\gamma v_M) \\
\theta_N^{\gamma} &= p_N/(\gamma v_N) \\
\theta_O^{\gamma} &= p_O/(\gamma v_O) \\
\theta_p^{\gamma} &= p_p/(\gamma v_p)
\end{aligned}
$$

Preferensi konsumen terhadap harga produk yang dibundel dibandingkan dengan valuasi maksimum yang didiskon diwakili dengan θ_i . Jika sebelumnya hanya 2 produk yang membentuk bundel MN, preferensi konsumen terhadap harga produk M yaitu hanya berasal dari pengurangan harga produk *bundle* MN dikurangi harga produk N dibagi dengan valuasi maksimum yang didiskon. Pada kasus bundel 3 produk, preferensi konsumen terhadap harga produk M berasal dari beberapa bundel, yaitu dari P_{MN}, P_{MO}, dan P_{MNO}. Hal yang sama juga terjadi pada preferensi konsumen untuk produk N, dan O. Berikut merupakan persamaan untuk kandidat preferensi konsumen terhadap produk M dari produk bundel.

$$
\begin{aligned}
\theta_{M_{MN}} &= (p_{MN} - p_N)/(\gamma v_M) \\
\theta_{M_{MO}} &= (p_{MO} - p_O)/(\gamma v_M) \\
\theta_{M_{MNO}} &= (p_{MNO} - p_N - p_O)/(\gamma v_M) \\
\theta_{M_{MNO_{NO}}} &= (p_{MNO} - p_{NO})/(\gamma v_M)
\end{aligned}
$$

Berikut merupakan persamaan untuk kandidat preferensi konsumen terhadap produk N dari produk bundel.

$$
\begin{aligned}
\theta_{N_{MN}} &= (p_{MN} - p_M)/(\gamma v_N) \\
\theta_{N_{NO}} &= (p_{NO} - p_O)/(\gamma v_N) \\
\theta_{N_{MNO}} &= (p_{MNO} - p_M - p_O)/(\gamma v_N) \\
\theta_{N_{MNO_{MO}}} &= (p_{MNO} - p_{MO})/(\gamma v_N)
\end{aligned}
$$

Berikut merupakan persamaan untuk kandidat preferensi konsumen terhadap produk O dari produk bundel.

$$
\begin{aligned}
\theta_{O_{MO}} &= (p_{MO} - p_M)/(\gamma v_O) \\
\theta_{O_{NO}} &= (p_{NO} - p_N)/(\gamma v_O) \\
\theta_{O_{MNO}} &= (p_{MNO} - p_M - p_N)/(\gamma v_O) \\
\theta_{O_{MNO_{MN}}} &= (p_{MNO} - p_{MN})/(\gamma v_O)
\end{aligned}
$$

Dari beberapa kandidat titik preferensi tersebut, akan dipilih salah satu yang maksimum diantara yang lain untuk membentuk wilayah *demand.* Titik ini berdistribusi uniform [0,1]. Berikut merupakan persamaan untuk memilih kandidat titik preferensi konsumen terhadap harga produk dari hanga bundel untuk *full mixed bundling*.

$$
\begin{aligned}
\theta_M &= Max\{\theta_{M_{candidates}}\} \\
\theta_N &= Max\{\theta_{N_{candidates}}\} \\
\theta_O &= Max\{\theta_{O_{candidates}}\} \\
\theta_P &= Max\{\theta_{P_{candidates}}\}
\end{aligned}
$$

Authors retain copyright and grant the journal right of first publication with the work simultaneously licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License **Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Gresik, Jawa Timur, Indonesia**

Titik-titik preferensi konsumen akan menentukan batas wilayah *demand*. Kumpulan konsumen potensial dari ketiga produk dan bundel dimaksimalkan menjadi 1. Wilayah *demand* bundel dua produk membentuk luasan karena satu produk mewakili 1 dimensi. Maka dari itu, wilayah *demand* tiga produk akan membentuk kubus dan wilayah yang dihitung merupakan volume. Berikut merupakan persamaan *demand.*

$$D_M = \theta_N\theta_O\theta_p(1-\theta_M^\gamma)$$
$$D_N = \theta_M\theta_O\theta_p(1-\theta_N^\gamma)$$
$$D_O = \theta_M\theta_N\theta_p(1-\theta_O^\gamma)$$
$$D_{MN} = (1-\theta_M)(1-\theta_N)\theta_O\theta_p - \frac{1}{2}(\theta_M^\gamma - \theta_M)(\theta_N^\gamma - \theta_N)\theta_O\theta_p$$
$$D_{MO} = (1-\theta_M)(1-\theta_O)\theta_N\theta_p - \frac{1}{2}(\theta_M^\gamma - \theta_M)(\theta_O^\gamma - \theta_O)\theta_N\theta_p$$
$$D_{NO} = (1-\theta_N)(1-\theta_O)\theta_M\theta_P - \frac{1}{2}(\theta_N^\gamma - \theta_N)(\theta_O^\gamma - \theta_O)\theta_M\theta_P$$
$$D_{MNO} = (1-\theta_M)(1-\theta_N)(1-\theta_O)\theta_P - \frac{1}{6}(\theta_M^\gamma - \theta_M)(\theta_N^\gamma - \theta_N)(\theta_O^\gamma - \theta_O)\theta_P$$

Model *profit* juga dikembangkan dengan menambahkan *market demand* (M) yang mewakili jumlah kumpulan pelanggan potensial dan *cost (C).* Berikut merupakan fungsi objektif dari *profit.*

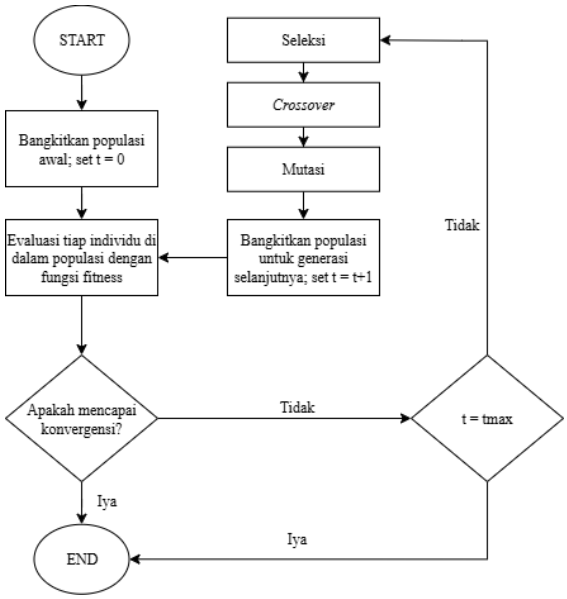
$$\pi = M((D_M(P_M - C_M) + D_N(P_N - C_N) + D_O(P_O - C_O) + D_{MN}(P_{MN} - C_{MN}) + D_{MO}(P_{MO} - C_{MO}) + D_{NO}(P_{NO} - C_{NO}) + D_{MNO}(P_{MNO} - C_{MNO}))$$
$$Max_{Pi} = Max_{Pi}[\pi]$$

Dari fungsi pembantu dan tujuan tersebut, untuk membatasi solusi yang *feasible,* terdapat beberapa fungsi pembatas yaitu sebagai berikut.

a) Harga jual lebih besar dari *cost* dan lebih kecil dari valuasi konsumen (WTP):
$$C_i < p_i < v_i$$
b) Harga produk bundel lebih rendah dari total harga produk:
$$p_{ij} < p_i + p_j$$
c) Preferensi konsumen terhadap produk memiliki rentang dari 0 sampai 1:
$$0 \le \theta_i^\gamma \le 1$$
$$0 \le \theta_i \le 1$$
d) Preferensi konsumen terhadap harga produk dibandingkan dengan harga produk yang didiskon lebih besar dari preferensi konsumen terhadap harga produk yang dibundel dibandingkan dengan harga produk yang didiskon:

e) Utilitas bernilai nonegatif:
$$U_i \ge 0$$
f) *Demand* bernilai 0 sampai 1:
$$0 \le D_i \le 1$$

Selanjutnya, dilakukan eksperimen numerik dengan optimasi metaheuristik menggunakan *Genetic Alghorithm* untuk menentukan harga jual dan paket bundle yang menghasilkan keuntungan yang maksimum. Berikut merupakan langkah-langkah algoritma genetik.



Gambar 2 Langkah-Langkah Algoritma Genetik

3. Hasil dan Pembahasan

Eksperimen numerik dilakukan berdasarkan data yang telah dikumpulkan. Rata-rata *willingness to pay* untuk produk bilah yaitu Rp 500,000, galah yaitu Rp 300,000, dan *ripeness detector* yaitu Rp 800,000. Biaya untuk memproduksi bilah yaitu Rp 350,000, galah yaitu 180,000, dan *ripeness detector* yaitu Rp 600,000. *Market Demand (customer pool)* untuk bilah yaitu 1008, galah yaitu 2479, dan *ripeness detector* yaitu 1371. Berdasarkan jurnal sebelumnya, untuk *mixed bundling*

Authors retain copyright and grant the journal right of first publication with the work simultaneously licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Gresik, Jawa Timur, Indonesia

p-ISSN: 1693-5128, e-ISSN : 2621-8933
doi: 10.350587/Matrik v26i1.10214

customer pool merupakan gabungan dari pelanggan potensial semua produk, sehingga jumlah *customer pool* yaitu 4858. Untuk percobaan numerik awal, diskon valuasi di set 0.05 yang berarti *remaining valuation discount* yaitu 0.95. Berikut merupakan hasil model matematis yang dikembangkan dengan menggunakan algoritma genetika.

Tabel 3 *Mixed Bundling Pricing* Tiga Produk dengan Valuasi Diskon

	Full Mixed Bundling
Pm	Rp420,022
Pn	Rp237,870
Po	Rp687,848
Pmn	Rp626,208
Pmo	Rp1,076,185
Pno	Rp894,034
Pmno	Rp1,282,372
Dm	0.072
Do	0.056
Dn	0.117
Dmn	0.040
Dmo	0.017
Dno	0.029
Dmno	0.007
Profit	Rp131,799,776

Pengaruh valuasi diskon bukan hanya didapatkan pada produk bundel, namun juga pada produk satuannya. Ini membuat harga yang ditetapkan oleh penjual menjadi jauh lebih rendah dari *willingness to pay* pelanggan untuk menjaga agar pelanggan tetap tertarik untuk membeli produk tersebut dan juga dalam paket bundel. Jika ditinjau dari proporsi *demand*, nilai *demand* untuk tiga produk merupakan yang paling kecil, disusul dengan proporsi *demand* untuk bundel dua produk, dan proporsi *demand* terbesar yaitu untuk produk satuan. Hal ini terjadi karena penjual berada dalam kondisi di mana harus menentukan titik harga antara memberikan diskon yang besar untuk menarik pelanggan agar membeli bundel yang membuat *demand* bundel untuk tiga produk menjadi tinggi dan memperhitungkan keuntungan penjual. Dari eksperimen tersebut, dapat diketahui bahwa semakin banyak jumlah produk yang dibundel, penjual akan memberikan potongan harga yang lebih besar guna menarik pelanggan untuk membeli bundel karena pelanggan memiliki penurunan valuasi terhadap produk tersebut.

Mixed Bundling Pricing Dua Produk vs Tiga Produk

Pada penetapan harga untuk *mixed bundling* dua produk untuk egrek digital, dalam eksperimen numerik diambil produk bilah dan galah. Eksperiman dilakukan dengan parameter *WTP*, *cost,* dan *remaining valuation discount* yang sama seperti eksperimen awal. Berikut merupakan harga satuan dan bundel untuk *mixed bundling pricing* dua produk dan tiga produk.

Tabel 4 *Mixed Bundling Pricing* Dua Produk vs Tiga Produk

	Dua Produk	**Tiga Produk**
Pm	Rp412,627	Rp420,022
Pn	Rp242,389	Rp237,870
Po	-	Rp687,848
Pmn	Rp628,325	Rp626,208
Pmo	-	Rp1,076,185
Pno	-	Rp894,034
Pmno	-	Rp1,282,372

Dari hasil eksperimen numerik yang dilakukan, terdapat perbedaan harga untuk produk m (bilah), n (galah), dan produk mn (bundel bilah+galah) dalam penetapan harga antara *mixed bundling pricing* dua produk dan tiga produk. Penetapan harga pada *mixed bundling* tiga produk juga dipengaruhi oleh pandangan konsumen dan juga *cost* produk O, baik produk O yang dijual satuan maupun yang dijual secara bundel. Sistem akan mencari kembali keseimbangan harga yang dapat mencapai titik *profit* maksimum bagi konsumen. Pada produk bundel mn untuk bundel tiga produk, harga jual juga mengalami potongan harga yang lebih banyak dari pada harga bundel mn pada bundel dua produk. Ini merupakan upaya penjual memberikan nilai tambah bagi konsumen agar konsumen tertarik

Authors retain copyright and grant the journal right of first publication with the work simultaneously licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License **Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Gresik, Jawa Timur, Indonesia**

membeli bundel mn pada bundel tiga produk, karena keputusan konsumen dalam pembelian pada *mixed bundling* tiga produk masih harus mempertimbangkan harga untuk produk bundel mo, no, dan bundel mno.

Pure Component vs Full Mixed Bundling

Pada bagian ini, dilakukan eksperimen numerik yang menganalisis kondisi ketika penjual memutuskan untuk menawarkan produk secara satuan terpisah *(pure component)* atau menawarkan secara *full mixed bundling* yaitu menjual produk satuan secara terpisah dan bundelnya. Berikut penetapan harga ketika penjual memutuskan untuk menjual produk satuan secara terpisah dibandingkan dengan *full mixed bundling.*

Tabel 5 Harga *Pure Component vs Full Mixed Bundling*

	Pure Component	***Full Mixed Bundling***
Pm	Rp452,029	Rp420,022
Pn	Rp245,945	Rp237,870
Po	Rp717,084	Rp687,848
Pmn		Rp626,208
Pmo		Rp1,076,185
Pno		Rp894,034
Pmno		Rp1,282,372

Pada penjualan *pure component* dimana menjual produk secara satuan *(unbundling),* tidak terjadi diskon valuasi. Hal ini terjadi karena penjual tidak menjual produk bundel dengan potongan harga yang menyebabkan persepsi konsumen menurun pada produk tersebut. Hal ini juga menyebabkan penjual bisa menetapkan harga jual yang lebih tinggi kepada konsumen karena tidak ada penurunan valuasi (diskon valuasi) yang terjadi pada konsumen. Saat penjual memutuskan untuk menjual produk secara terpisah (tidal dibundel), valuasi konsumen sama dengan *willingess to pay* -nya dan tidak mengalami pengurangan. Perbandingan harga dapat dilihat pada **Tabel *5***.

Berbeda dengan kondisi ketika penjual memutuskan untuk menjual bundel, valuasi konsumen yang berkurang membuat penjual harus menetapkan harga yang lebih rendah untuk produk satuan. Kemudian, untuk menarik minat calon pembeli untuk membeli produk bundel, penjual juga mengenakan potongan harga untuk tiap bundelnya. Harga yang ditetapkan penjual akan berpengaruh terhadap proporsi *demand* dari pelanggan potensial.

Tabel 6 Proporsi *Demand Pure Component vs Full Mixed Bundling*

	Pure Component	***Full Mixed Bundling***
Dm	0.071	0.072
Do	0.077	0.056
Dn	0.146	0.117
Dmn	0.000	0.040
Dmo	0.000	0.017
Dno	0.000	0.029
Dmno	0.000	0.007
Dtotal	**0.293**	**0.338**

Tabel *6* menunjukkan *proporsi demand* bila dijual dengan skema *pure component* dan *mixed bundling.* Walaupun penjual harus menurunkan harga ketika menawarkan produk bundel yang menyebabkan diskon valuasi, penjual mendapatkan timbal balik positif dengan menjual paket bundel. Proporsi pelanggan potensial meningkat ketika penjual memutuskan untuk menjual produk bundel. Hal ini disebabkan karena ketika penjual hanya menawarkan produk satuan secara terpisah, misal pelanggan potensial produk bilah, hanya akan tertarik untuk membeli produk bilah saja, begitu juga untuk pelanggan potensial galah, dan *ripeness detector.* Di sisi lain, ketika penjual memutuskan untuk menawarkan produk bundel, pelanggan potensial bilah memiliki peluang untuk tertarik membeli galah dan ripeness detector secara bundel (walaupun pada dasarnya mereka belum terlalu menginginkan produk lainnya).

Authors retain copyright and grant the journal right of first publication with the work simultaneously licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License **Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Gresik, Jawa Timur, Indonesia**

p-ISSN: 1693-5128, e-ISSN : 2621-8933
doi: 10.350587/Matrik v26i1.10214

Tabel 7 *Profit Pure Component vs Full Mixed Bundling*

	Pure Component	Full Mixed Bundling
Profit	Rp43,451,641	Rp131,799,776

Selanjutnya, jika ditinjau dari segi keuntungan yang didapat, menjual produk dengan *mixed bundling* yaitu menawarkan produk satuannya dan produk bundel lebih menguntungkan dari pada hanya menawarkan produk satuan secara terpisah. Walaupun penjual telah memberikan potongan harga kepada produk satuan dan produk bundelnya, penjualan *mixed bundling* masih tetap menguntungkan penjual, salah satunya karena faktor *demand* yang meningkat. Maka dari itu, strategi penjualan produk Egrek Digital Merah Putih yang memiliki 3 komponen dengan *mixed bundling* sangat direkomendasikan karena dapat menghasilkan *profit* yang jauh lebih besar dari pada menjual produk secara satuan.

Kinerja Algoritma Genetika pada *Mixed Bundling Pricing*

Eksperimen ini dilakukan untuk melihat kinerja algoritma genetika ketika dimensi harga yang dicari pada ruang solusi bertambah. Dalam kasus ini, perusahaan menawarkan *full mixed bundling* di mana ketika ada 2 produk yang ditawawkan, maka jumlah total kombinasi bundel dan komponen satuannya yang perlu diberi harga sama dengan $2^N - 1$. Jika ada 2 produk, maka dimensi solusi harga yang harus ditemukan oleh algoritma genetika yaitu 3. Jika ada 3 produk, maka dimensi solusi harga yang harus ditemukan oleh algoritma genetika meningkat secara eksponensial menjadi 7. Ini berarti kompleksitas dari pencarian solusi meningkat. Proses dalam pencarian solusi optimum global akan lebih kompleks dan lebih sulit. Solusi optimum global ditandai dengan konvergensi *fitness function* yang ditandai dengan *profit* ke satu titik optimum yang sama. Oleh karena itu, untuk melihat kinerja algoritma genetika, dilakukan 5 kali eksperimen *(running)* untuk setiap percobaan numerik.

Pada *mixed bundling pricing* untuk dua produk, parameter GA yang diinisiasi untuk populasi yaitu 500, generasi (iterasi) yaitu 3000, *mutation rate* yaitu 0.1, dan *crossover rate* yaitu 0.9.

Tabel 8 Kinerja Algoritma Genetik Pada *Mixed Bundling Pricing* Dua Produk

Eksperimen ke-	*Fitness (Profit)*
1	Rp41,961,596.00
2	Rp41,961,595.90
3	Rp41,961,595.80
4	Rp41,961,595.83
5	Rp41,961,595.97
std	**0.08**

Pada Tabel 8 tersebut, algoritma genetik memiliki kinerja yang sangat baik pada *mixed bundling pricing* untuk dua produk dengan *desicion variable* yaitu harga yang bejumlah 3 (Pm, Pn, dan Pmn). Pencarian solusi konvergen dan memiliki standar deviasi pada *fitness*-nya yang mendekati 0.

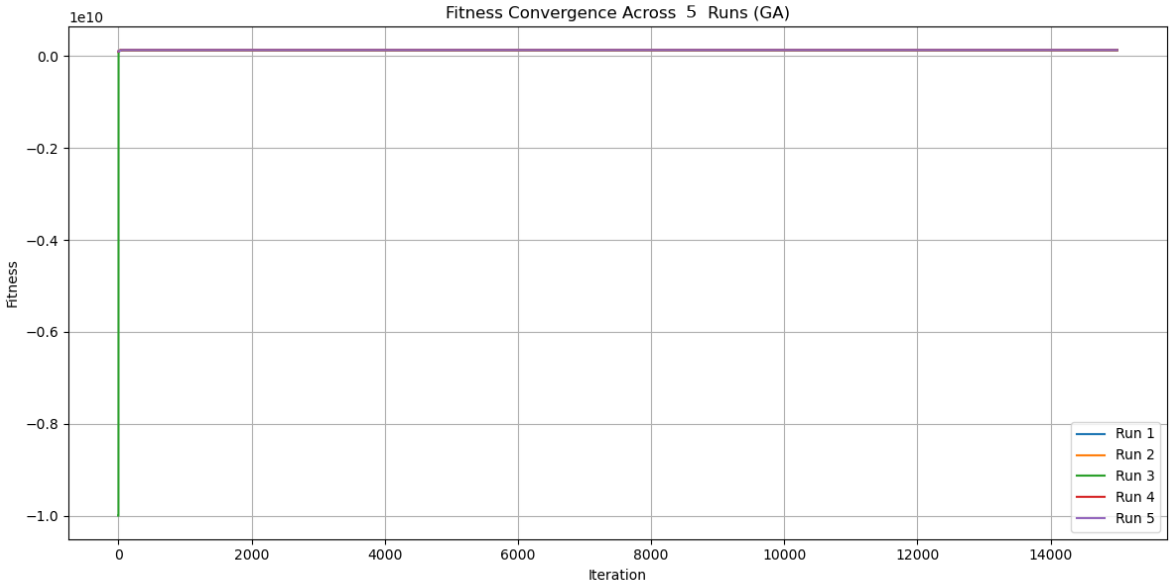
Pada *mixed bundling pricing* untuk tiga produk, parameter GA yang diinisiasi untuk populasi yaitu 3000, *mutation rate* yaitu 0,1, dan *crossover rate* yaitu 0,9. Karena komplesitas yang meningkat, dilakukan *tuning* parameter untuk generasi. Berikut hasil dari 5 kali eksperimen untuk tiap *tuning* parameter generasi.

Tabel 9 Kinerja Algoritma Genetik Pada *Mixed Bundling Pricing* Tiga Produk

Jumlah Generasi	Std *Fitness*	*Fitness (Profit)* Tertinggi
15000	99705	Rp131,737,000
30000	70673	Rp131,789,363
50000	41482	Rp131,799,776

Dari hasil *tuning* parameter tersebut, semakin bertambah jumlah generasi, maka semakin menurun standar deviasi untuk *fitness* setiap eksperimen, ini menandakan solusi yang menuju konvergensi. Semakin besar jumlah generasi, juga hasil *fitness (profit)* semakin baik yang ditandai dengan hasil yang semakin tinggi.

Authors retain copyright and grant the journal right of first publication with the work simultaneously licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License **Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Gresik, Jawa Timur, Indonesia**



Gambar 3 *Plot Fitness* per Generasi pada setiap Eksperimen untuk GA Bundel 3 Produk dengan Parameter 15000 Generasi

Pada **Gambar 3** yang memperlihatkan *plot fitness* per generasi pada setiap eksperimen untuk *running* GA bundel 3 produk dengan parameter 15000 generasi. Hasil *fitness* semakin baik seiring bertambahnya generasi. Walaupun pada Gambar 3 *plot fitness* dari tiap generasi untuk 5 kali eksperimen (yang diwakilkan dengan garis yang berbeda warnanya) saling berhimpit, hasil *fitness* untuk 15000 generasi GA belum konvergen. Hal tersebut dapat dilihat pada **Tabel *9***, standar deviasi untuk 5 kali eksperimen pada 15000 generasi masih menunjukkan angka 99705 yang artinya belum mendekati 0. Maka dari itu, optimasi *mixed bundling pricing* 3 produk dengan GA dilakukan penambahan pada parameter jumlah generasi, yaitu ditambahkan menjadi 30000 dan 50000 generasi. Namun, dapat dilihat dari Tabel 9, untuk hasil *fitness* dengan jumlah generasi sebanyak 50000, hasil standar deviasi untuk setiap eksperimen belum juga mendekati 0. Pada dasarnya, usaha untuk *tuning* parameter generasi bisa dilanjutkan untuk jumlah genrasi sampai ratusan ribu, atau *tuning* parameter lainnya untuk mencari solusi di ruang yang lebih besar. Namun semakin besar nilai parameter populasi dan generasi, maka akan semakin mahal komputasi. Hal ini berarti dengan jumlah generasi yang besar tersebut, walaupun hasil *fitness* tiap generasi semakin baik, kinerja GA belum maksimal dalam mencari solusi global optimum pada kasus *mixed bundling pricing* untuk 3 produk ini yang merupakan permasalahan kontinus. Kondisi ini disebabkan oleh kompleksitas permasalahan yang meningkat. *Desicion Varibale* yang harus dihasilkan meningkan secara eksponensial, yang sebelumnya pada masalah *mixed bundling pricing* 2 produk terdapat 3 *desicion variable* harga, pada *mixed bundling pricing* 3 produk terdapat 7 *desicion variable* harga yang harus dihasilkan. Sistem semakin kompleks mencari keseimbangan harga untuk menghasilkan *profit* yang maksimum.

4. Kesimpulan dan Saran

Penelitian ini berhasil mengembangkan model *mixed bundling pricing* untuk tiga produk (bilah, galah, dan *ripeness detector*) yang mempertimbangkan valuasi diskon dan dioptimalkan menggunakan Algoritma Genetika. Berdasarkan percobaan numerik yang dilakukan didapat temuan berupa valuasi diskon menyebabkan harga jual produk, baik satuan maupun bundel, ditetapkan lebih rendah dari *willingness to pay* konsumen untuk menjaga ketertarikan pembeli. Namun, dengan mempertimbangkan biaya dalam perhitungan profit, harga yang dihasilkan tetap realistis dan menguntungkan bagi penjual. *Demand* untuk bundel tiga produk adalah yang paling kecil,

Authors retain copyright and grant the journal right of first publication with the work simultaneously licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License **Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Gresik, Jawa Timur, Indonesia**

p-ISSN: 1693-5128, e-ISSN : 2621-8933
doi: 10.350587/Matrik v26i1.10214

diikuti oleh bundel dua produk, dan *demand* terbesar adalah untuk produk satuan. Ini menunjukkan adanya upaya penjual untuk menyeimbangkan diskon guna menarik pembeli bundel dengan menjaga profitabilitas.

Penambahan produk ketiga dalam bundel (*mixed bundling* tiga produk) memengaruhi harga jual produk individual dan bundel dua produk lainnya, menyebabkan penyesuaian harga untuk mencapai *profit* maksimum. Potongan harga untuk bundel cenderung lebih besar pada bundel tiga produk untuk menarik minat konsumen yang harus mempertimbangkan lebih banyak opsi bundel. Strategi *mixed bundling* menghasilkan proporsi *demand* total yang lebih tinggi dan *profit* yang signifikan lebih besar dibandingkan dengan hanya menjual produk secara *pure component*. Meskipun harga satuan dalam *mixed bundling* lebih rendah akibat *valuation discount*, peningkatan minat beli secara keseluruhan karena adanya opsi bundel memberikan keuntungan yang lebih besar bagi penjual.

Algoritma Genetika menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam *mixed bundling pricing* untuk dua produk (dimensi solusi harga 3) dengan konvergensi yang cepat dan standar deviasi fitness yang mendekati nol. Namun, untuk *mixed bundling pricing* tiga produk (dimensi solusi harga 7), meskipun peningkatan jumlah generasi meningkatkan *fitness* dan menurunkan standar deviasi, konvergensi optimal global masih belum sepenuhnya tercapai, menunjukkan kompleksitas yang lebih tinggi dan kebutuhan komputasi yang lebih besar untuk masalah berdimensi lebih tinggi.

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat eksplorasi metode metaheuristik lainnya yang dapat menghasilkan global optimum dengan biaya komputasi yang lebih efisien. Model saat ini berfokus pada kondisi monopoli. Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan dinamika pasar yang lebih kompleks, termasuk adanya pesaing dan bagaimana strategi penetapan harga mereka memengaruhi keputusan *bundling*.

5. Daftar Pustaka

[1] J. Pérez and H. López-Ospina, "Competitive Pricing for Multiple Market Segments Considering Consumers' Willingness to Pay," *Mathematics*, vol. 10, no. 19, Oct. 2022, doi: 10.3390/math10193600.

[2] H. Shan, C. Zhang, and G. Wei, "Bundling or unbundling? pricing strategy for complementary products in a green supply chain," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 4, Feb. 2020, doi: 10.3390/su12041331.

[3] G. Zhang, G. Li, and J. Shang, "Optimizing mixed bundle pricing strategy: Advance selling and consumer regret," *Omega (United Kingdom)*, vol. 115, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.omega.2022.102782.

[4] Y. Liu, X. Wang, and W. Ren, "A bundling sales strategy for a two-stage supply chain based on the complementarity elasticity of imperfect complementary products," *Journal of Business and Industrial Marketing*, vol. 35, no. 6, pp. 983–1000, Apr. 2020, doi: 10.1108/JBIM-05-2019-0267.

[5] M. Banciu and F. Ødegaard, "Optimal product bundling with dependent valuations: The price of independence," *Eur J Oper Res*, vol. 255, no. 2, pp. 481–495, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.ejor.2016.05.022.

[6] R. M. Heeler, A. Nguyen, and C. Buff, "Bundles = discount? Revisiting complex theories of bundle effects," *Journal of Product and Brand Management*, vol. 16, no. 7, pp. 492–500, 2007, doi: 10.1108/10610420710834940.

[7] S. Guidon, M. Wicki, T. Bernauer, and K. Axhausen, "Transportation service bundling – For whose benefit? Consumer valuation of pure bundling in the passenger transportation market," *Transp Res Part A Policy Pract*, vol. 131, pp. 91–106, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.tra.2019.09.023.

[8] T. Chen, F. Yang, and X. Guo, "Retailer-driven bundling when valuation

Authors retain copyright and grant the journal right of first publication with the work simultaneously licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License **Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Gresik, Jawa Timur, Indonesia**

discount exists," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 71, no. 12, pp. 2027–2041, Dec. 2020, doi: 10.1080/01605682.2019.1650620.

[9] T. Chen, X. Guo, F. Yang, and L. Tian, "Strategic price bundling for online retail platforms considering consumer behavior of valuation discount," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 74, no. 12, pp. 2648–2664, 2023, doi: 10.1080/01605682.2023.2174051.

[10] R. Raj, M. H. Karwan, C. Murray, and L. Sun, "Itemized pricing in B2B bundles with diminishing reservation prices and loss averse customers," *Journal of Revenue and Pricing Management*, vol. 21, no. 4, pp. 375–392, Aug. 2022, doi: 10.1057/s41272-021-00341-y.

[11] K. Page, J. Pérez, C. Telha, A. García-Echalar, and H. López-Ospina, "Optimal bundle composition in competition for continuous attributes," *Eur J Oper Res*, vol. 293, no. 3, pp. 1168–1187, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.ejor.2021.01.032.

[12] R. Raj, M. H. Karwan, C. Murray, and L. Sun, "A numerical optimization approach for pricing components in customer defined bundles in a B2B market," *Comput Oper Res*, vol. 155, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.cor.2023.106215.

[13] Z. S. Hasanpour Jesri, K. Eshghi, and M. Rafiee, "Bundle price, buyer's preference and shipping cost: forming buyers' groups for bundles of products," *Engineering Optimization*, vol. 56, no. 5, pp. 700–719, 2024, doi: 10.1080/0305215X.2023.2190103.

[14] M. Dwiharsanti, W. Sri Jaman, dan Shinta Virdhian Balai Besar Logam dan Mesin, and J. Sangkuriang No, "Analisis Komparatif Tingkat Kekerasan dan Komposisi Karbon Egrek antara Produk Lokal dan Impor Comparative Analysis Hardness Level And Carbon Composition of 'egrek' Between Local and Import Product," 2018. [Online]. Available: http://www.jurnalmetal.or.id/index.php/jmi

[15] A. Stauch, "Does solar power add value to electric vehicles? An investigation of car-buyers' willingness to buy product-bundles in Germany," *Energy Res Soc Sci*, vol. 75, May 2021, doi: 10.1016/j.erss.2021.102006.

Authors retain copyright and grant the journal right of first publication with the work simultaneously licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License **Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Gresik, Jawa Timur, Indonesia**