

## **Analisis Efisiensi Teknis dan Gap Teknologi pada Produksi Rumput Laut di Jawa Timur Indonesia Menggunakan Metafrontier DEA**

### ***Technical Efficiency Analysis and Gap Technology on Seaweed Production in East Java, Indonesia Using Meta-Frontier DEA***

**M. Khairul Anam<sup>1\*</sup>, M. Ulul Albab<sup>2</sup>, Sukma Febri Setyana<sup>1</sup>, Campina Illa Prihantini<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Agribisnis, Fakultas Perikanan dan Peternakan, Universitas Islam Lamongan  
Jalan Veteran, No. 053A, Jetis, Lamongan, Jawa Timur, 62211

<sup>2</sup>Program Studi Matematika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Islam Lamongan  
Jalan Veteran, No. 053A, Jetis, Lamongan, Jawa Timur, 62211

<sup>3</sup>Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian Perikanan dan Peternakan, Universitas  
Sembilanbelas November Kolaka

Jl. Pemuda No.339, Tahoa, Kec. Kolaka, Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara 93561

\*Email: khoirulanam@unisla.ac.id

(Diterima 17-09-2024; Disetujui 29-11-2024)

#### **ABSTRAK**

Produksi rumput laut sering mengalami fluktuasi, di mana salah satu masalah yang kerap dihadapi oleh para petani adalah kurang optimalnya penggunaan faktor-faktor produksi yang tersedia, yang kemudian berdampak pada jumlah produksi. Tujuan penelitian ini yaitu untuk menganalisis tingkat efisiensi teknis dan gap teknologi pada produksi rumput laut di tiga Kabupaten di Jawa Timur yaitu, Sumenep, Banyuwangi, dan Situbondo. Penelitian ini menggunakan data primer dengan data *cross section* selama musim budidaya rumput laut pada tahun 2023/2024 di Kabupaten Sumenep, Banyuwangi, dan Situbondo. Kuisisioner terstruktur digunakan untuk mengumpulkan data input dan output yang digunakan. Metode analisis Meta-Frontier DEA (*Data Envelopment Analysis*) digunakan untuk mengukur efisiensi teknis produksi rumput laut di setiap area penelitian. Berdasarkan hasil analisis Efisiensi teknis, Secara berturut-turut wilayah dengan tingkat efisiensi = 1 yaitu Kabupaten Sumenep (63.33%), Kabupaten Banyuwangi (40%), dan Kabupaten Situbondo (23.33%). lebih dari 50% unit pengambil keputusan (DMU) di Kabupaten Sumenep telah mencapai efisiensi sempurna ( $TE=1$ ), sementara dua kabupaten lainnya belum mencapai 50% dari DMU-nya. Lebih lanjut, rata-rata efisiensi teknis DMU di ketiga lokasi penelitian adalah 85.3%. Hal ini menunjukkan bahwa DMU tersebut masih dapat meningkatkan efisiensi teknisnya hingga 14.7%. Nilai rata-rata TGR menunjukkan variabilitas yang rendah, tetapi perbedaan tetap ada. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga lokasi penelitian menerapkan praktik produksi, metode, dan ketersediaan sumber daya yang berbeda. Namun, Kabupaten Banyuwangi memiliki nilai TGR tertinggi di antara ketiga lokasi penelitian, mendekati ambang batas 1. Hal ini mengindikasikan kesenjangan teknologi yang relatif rendah di wilayah ini.

Kata kunci: efisiensi teknis, gap teknologi, rumput laut, Meta-frontier DEA, Indonesia

#### **ABSTRACT**

*Seaweed production often experiences fluctuations, with one of the recurring challenges faced by farmers being the suboptimal utilization of available production factors, which in turn impacts production output. The aim of this study is to analyze the level of technical efficiency and the technology gap in seaweed production across three districts in East Java: Sumenep, Banyuwangi, and Situbondo. This research utilizes primary data in a cross-sectional format during the 2023/2024 seaweed cultivation season in the aforementioned districts. A structured questionnaire was used to collect data on the inputs and outputs used in production. The Meta-Frontier Data Envelopment Analysis (DEA) method was applied to measure the technical efficiency of seaweed production in each research area. Based on the results of the technical efficiency analysis, the areas with efficiency scores of 1 (fully efficient) were as follows: Sumenep District (63.33%), Banyuwangi District (40%), and Situbondo District (23.33%). More than 50% of the Decision-Making Units (DMUs) in Sumenep have achieved perfect efficiency ( $TE = 1$ ), whereas the other two districts have not reached 50% efficiency among their DMUs. Furthermore, the average technical efficiency across the DMUs in the three study locations is 85.3%, indicating that these DMUs can still improve their technical efficiency by up to 14.7%. The average Total Gap Ratio (TGR) shows low variability, although differences still exist. This suggests that the three study areas implement varying production practices, methods, and*

*have different resource availability. However, Banyuwangi District has the highest TGR value among the three study locations, approaching the threshold of 1. This indicates a relatively low technology gap in this area.*

*Keywords: technical efficiency, technology gap, seaweed, Meta-Frontier DEA, Indonesia*

## PENDAHULUAN

Rumput laut adalah salah satu komoditas yang memiliki nilai ekonomi yang signifikan karena perannya yang sangat penting dalam berbagai produk yang digunakan manusia dalam kehidupan sehari-hari. Sampai saat ini rumput laut masih banyak dikonsumsi di kawasan benua Asia, di beberapa daerah bagian Amerika Selatan, dan juga di kepulauan pasifik (Buschmann, et al., 2017; Butcher, et al., 2020; Naylor, et al., 2021). Manfaat rumput laut sendiri dapat dirasakan pentingnya tidak hanya untuk kesehatan saja dalam bentuk *nutraceuticals* (Shannon & Abu-Ghannam, 2019) dan makanan fungsional (Rimmer, et al., 2021). Melainkan, sekitar 99% rumput laut yang dibudidayakan digunakan untuk produksi gel dalam industri farmasi dan makanan (Buschmann, et al., 2017).

Indonesia merupakan kontributor utama dalam produksi rumput laut global, terutama rumput laut merah *Kappaphycus alvarezii* (*Kappaphycus*) dan *Eucheuma denticulatum* (*Eucheuma*), yang digunakan untuk menghasilkan karagenan, dan spesies *Gracilaria*, yang digunakan untuk menghasilkan agar (Rimmer, et al., 2021). Menurut data dari Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), produksi rumput laut Indonesia mencapai 9,12 juta ton pada tahun 2021. Hingga September 2022, volume ekspor rumput laut Indonesia mencapai 180,6 ribu ton dengan nilai mencapai USD 455,7 juta, yang merupakan peningkatan sebesar 93% dibanding periode yang sama pada tahun 2021 (KKP, 2023). Selain itu Indonesia merupakan Negara produsen kedua terbesar dalam budidaya rumput laut setelah China (Buschmann, et al., 2017). Rumput laut yang paling banyak diproduksi dan diekspor oleh Indonesia adalah *Eucheuma cottonii*. Volume ekspor rumput laut kering Indonesia dapat memenuhi 58% kebutuhan dunia dengan peningkatan rata-rata volume ekspor sebesar 11,7% per tahun (Zamroni & Ernawati, 2015). Sehingga Indonesia dikenal sebagai salah satu eksportir rumput laut terbesar, namun hanya dalam hal volume, bukan nilai ekspor. Nilai pasar rumput laut Indonesia saat ini lebih rendah daripada negara lain, bahkan dengan negarane-negara yang memiliki produksi rumput laut lebih kecil. Indonesia menempati peringkat ke-4 setelah Tiongkok, Korea, dan Cile. Tiga negara ini merupakan produsen karagenan terbesar di dunia, di mana bahan baku mereka berasal dari Indonesia. Fakta ini merugikan Indonesia karena masih mengandalkan ekspor komoditas rumput laut dalam bentuk bahan baku, yaitu rumput laut kering saja (Sudarwati, et al., 2020).

Selain itu, Provinsi Jawa Timur merupakan provinsi dengan sentra pengembangan budidaya rumput laut yang cukup besar di Indonesia. Potensi lahan rumput laut di Jawa Timur yang luasnya mencapai 397.286 hektar itu mampu menghasilkan jumlah produksi rumput laut sebanyak 699.236 ton. Menurut data Badan Pusat Statistika Tahun 2023, produksi rumput laut di Jawa Timur mencapai 687.692 ton yang rata-rata tersebar di 3 Kabupaten, yaitu Sumenep, Situbondo dan Banyuwangi (BPS, 2023).

Sampai saat ini, fakta menunjukkan bahwa Indonesia masih mengandalkan ekspor komoditas rumput laut dalam bentuk bahan baku, yaitu rumput laut kering, hal ini diakibatkan oleh tidak optimalnya penggunaan input produksi. Padahal pencapaian produksi ini masih bisa ditingkatkan untuk mendapatkan nilai tambah, yaitu dengan mengoptimalkan input produksi berupa tenaga kerja, luas lahan, pupuk, dan bibit. Variabel-variabel ini diyakini saling berinteraksi dan berkorelasi, membentuk hubungan dalam proses produksi budidaya rumput laut. Menurut Hikmah (2015) terdapat optimisme yang cukup besar dalam meningkatkan produksi rumput laut karena adanya potensi teknis yang tinggi dan potensi wilayah yang ada.

Menurut Bhakti & Patahiruddin (2021) Produksi rumput laut sering mengalami fluktuasi, di mana salah satu masalah yang kerap dihadapi oleh para petani adalah kurang optimalnya penggunaan faktor-faktor produksi yang tersedia, yang kemudian berdampak pada jumlah produksi. Tingkat produksi dari kegiatan budidaya ini dipengaruhi oleh efektivitas dan efisiensi pemanfaatan beberapa faktor produksi seperti peralatan, lahan, pupuk, bibit, dan tenaga kerja. Dengan demikian, tingkat produksi yang tinggi atau rendah tergantung pada seberapa baik input produksi tersebut dimanfaatkan.

Selain itu, permasalahan yang terdapat di tiga Kabupaten di Jawa Timur dengan produksi rumput laut terbesar, yaitu Sumenep, Banyuwangi, dan Situbondo, memiliki tingkat produktivitas dan produksi yang berbeda, karena perbedaan ketersediaan sumber daya alam dan infrastruktur teknologi. Disparitas ini dapat dipengaruhi oleh kemampuan, karakteristik budaya, fasilitas dan infrastruktur, serta iklim. O'Donnell, et al., (2008) menyatakan bahwa kesenjangan tersebut dapat mencakup penggunaan teknologi yang berbeda, ketersediaan sumber daya manusia dan keuangan (misalnya, jenis mesin, ukuran dan kualitas tenaga kerja, dan akses ke devisa), sumber daya alam (misalnya, kualitas lahan, iklim, energi), dan lingkungan fisik, sosial, dan ekonomi lainnya di mana produksi dilakukan. Sehingga, dengan adanya disparitas/kesenjangan tersebut mengakibatkan masing-masing petani rumput laut di masing-masing lokasi atau daerah secara teknis tidak memproduksi secara efisien.

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini. Orbeta, et al., (2021) menyatakan bahwa faktor pekerjaan utama, jumlah kepemilikan lahan, akses terhadap kredit, lokasi lahan, dan jenis produk yang dijual memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi teknis. Nursan, et al., (2022), menyatakan bahwa produksi rumput laut dipengaruhi oleh variabel area, bibit dan tenaga kerja. Selanjutnya, Alin, & Datu (2018) mengatakan usia (Pemilik), jumlah anggota keluarga yang terlibat dalam usaha tani, dan Tingkat Pendidikan berpengaruh terhadap inefisiensi teknis, sedangkan bahan bakar, pengalaman usahatani, dan dummy lokasi penting dalam meningkatkan efisiensi teknis budidaya rumput laut. Penelitian Jumiaty, et al., (2023), menyatakan faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi teknis rumput laut adalah luas lahan, jumlah benih, tenaga kerja, usia, pendidikan, dan pengalaman usahatani. Sedangkan menurut Bhakti dan Patahiruddin (2021), variabel modal, bibit, luas tambak, dan pupuk mempengaruhi inefisiensi teknis.

Dari beberapa penelitian terdahulu mengenai efisiensi budidaya rumput laut di atas, *state of the art* dan *novelty* penelitian ini terdapat dalam 3 hal, yaitu:

1. Input yang digunakan dalam penelitian ini meliputi, produksi, bibit, luas area, pupuk, tenaga kerja, dan teknologi budidaya.
2. Metode analisis yang digunakan dalam menganalisis efisiensi teknis adalah menggunakan Meta-frontier DEA yang bertujuan untuk mengestimasi perbedaan efisiensi teknis antar wilayah/area.
3. Dalam penelitian ini juga digunakan metode analisis TGR (*Total Gap Ratio*) untuk mengestimasi gap rasio dari 3 wilayah produsen rumput laut terbesar di Jawa Timur.

Studi tentang efisiensi teknis dan gap teknologi dalam produksi rumput laut di Jawa Timur memiliki relevansi yang luas dengan berbagai aspek SDGs Indonesia. Dengan memfokuskan pada peningkatan efisiensi dan adopsi teknologi, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada peningkatan kesejahteraan ekonomi dan sosial, tetapi juga mendukung upaya menjaga keberlanjutan lingkungan dan kesehatan ekosistem laut.

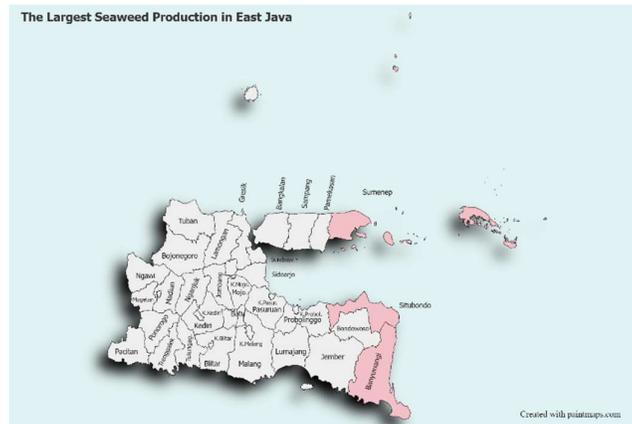
Oleh karena itu terdapat dua pertanyaan penelitian (*research question*) dari penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana tingkat efisiensi teknis produksi rumput laut di Jawa Timur?
2. Bagaimana pengukuran gap teknologi pada setiap daerah produksi rumput laut di Jawa Timur?

## METODE PENELITIAN

### Metode Penentuan Sampel

Penelitian ini menggunakan data primer dengan data *cross section* selama musim budidaya rumput laut pada tahun 2022/2023 di Kabupaten Sumenep, Banyuwangi, dan Situbondo sebagai tiga kabupaten dengan produksi rumput laut terbesar di Jawa Timur (Gambar 1). Penetapan wilayah berdasarkan jumlah produksi, luas lahan, dan tingkat produktivitasnya. Empat desa pusat dipilih dari setiap kecamatan penghasil rumput laut. Jumlah petani rumput laut yang dijadikan sampel dalam penelitian ini adalah 150 petani.



Gambar 1. Tiga Kabupaten Produsen Rumput Laut Terbesar di Jawa Timur

### Metode Analisis Data

Terdapat beberapa penelitian di Indonesia yang meneliti efisiensi teknis menggunakan metode analisis DEA (Anam, 2021; Anam, 2020) dan Meta-Frontier DEA (Asmara, 2023; Anam, 2022). Penelitian ini hanya terbatas pada efisiensi teknis saja. Dalam metode meta-frontier DEA, pengukuran efisiensi tidak menghitung nilai rata-rata tetapi efisiensi relatif penggunaan input produksi. Variabel input meliputi bibit, luas area, tenaga kerja, tali polietilen, frekuensi budidaya, BBM, dan dummy teknologi budidaya. Sementara itu, variabel output penelitian adalah produksi rumput laut.

Pendekatan efisiensi DEA bersifat non-parametrik. Ramanathan (2003) menyatakan bahwa dalam model DEA, beberapa input dan output digabungkan secara linear menggunakan pembobotan. Input yang digunakan oleh seorang petani merupakan jumlah linier dari bobot semua input yang digunakan dan dapat diformulasikan seperti dalam Persamaan 1, 2, dan 3.

$$Input\ Agregat = \sum_{i=1}^I u_i x_i \quad (1)$$

$$(2) \quad Output\ Agregat = \sum_{j=1}^J v_j y_j$$

$$Efficiency = \frac{\sum_{j=1}^J v_j y_j}{\sum_{i=1}^I u_i x_i} \quad (3)$$

Model tersebut diestimasi menggunakan Data Envelopment Analysis Program (DEAP) versi 2.1. Fungsi meta-frontier diperoleh dari pendekatan DEA dilakukan menggunakan persamaan 4.

$$s.t. \quad \begin{aligned} &Max_{\phi_{it}, \lambda_{it}} \quad \Phi_{it} \\ &-\Phi_{it} b_{it} + B_{it} \lambda_{it} \geq 0 \\ &a_{it} - A_{it} \lambda_{it} \geq 0; \\ &\lambda_{it} \geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Dimana:

$B_{it}$  adalah vektor  $M \times 1$  jumlah output dari unit pengambilan keputusan ke- $i$  (DMU) pada periode  $t$ ,  $A_{it}$  adalah vektor  $N \times 1$  yang merupakan jumlah input dari UKE ke- $i$  pada periode  $t$ , vektor  $B_{it}$   $M \times L$  adalah jumlah output dari total UKE ( $L$  adalah jumlah total UKE),  $A_{it}$  adalah vektor  $N \times L$  yang merupakan jumlah input dari total UKE,  $\lambda_{it}$  adalah vektor pembobotan, dan  $\Phi_{it}$  adalah skalar. Penelitian ini menggunakan pendekatan DEA, dengan analisis meta-frontier dilakukan untuk tiga lokasi penelitian. Ketiga lokasi tersebut memiliki karakteristik yang berbeda, yang diidentifikasi menggunakan analisis meta-frontier. Jika kita mengasumsikan bahwa vektor input adalah  $X$  dan

outputnya adalah  $y$ , maka himpunan teknologi yang dimiliki produsen dalam produksinya dapat diungkapkan seperti pada persamaan 5.

$$T = \{(X, y): X \geq 0, y \geq 0\} \quad (5)$$

Terkait dengan pengaturan meta-teknologi, yaitu penggunaan input dan hasilnya (output), representasi pengaturan output dalam teknologi meta-frontier diungkapkan dalam persamaan 6.

$$P(X) = \{y: (X, y) \in T\} \quad (6)$$

Transformasi input produksi menjadi output dalam pengaturan teknologi akan menghasilkan produksi frontier tertinggi atau batasannya. Jika ada faktor-faktor yang memengaruhi produksi, termasuk perbedaan dalam karakteristik lokasi, pencapaian efisiensi produksi dalam analisis meta-frontier menurut wilayah akan berbeda. Semakin rendah efisiensi suatu kelompok dibandingkan dengan kelompok lainnya, semakin rendah pula nilai efisiensi dalam meta-frontier. Persamaan berikut berkaitan dengan jarak antara meta-frontier dan pencapaian produsen (petani rumput laut) dalam penelitian ini.

$$D(X, y) = \inf_{\theta} \{\theta > 0; (X, y) \in P(X)\} \quad (7)$$

Jarak produksi dalam Persamaan 7 ( $D(X, y)$ ) menyatakan bahwa himpunan input yang digunakan oleh produsen akan menghasilkan output maksimum dalam pengamatan  $((X, y)_i)$  dan dapat dianggap efisien secara teknis dalam meta-frontier jika dan hanya jika  $D(X, y) = 1$ . Ini berarti bahwa, ketika tidak ada jarak, rasio pencapaian output terhadap frontier adalah sama ( $D(X, y)$  sama dengan 1).

Jika  $K$  mengindikasikan suatu daerah (*region*), maka pengaturan teknologi pada wilayah tertentu ditunjukkan oleh persamaan 8

$$T^K = \{(X, y): X \geq 0, y \geq 0\} \quad (8)$$

Sementara itu, teknologi dan output terkait serta jarak produksi per wilayah yang dimaksud terdapat dalam Persamaan 9 dan 10

$$P^K(X) = \{y: (X, y) \in T^K\} \quad (9)$$

$$D^K(X, y) = \inf_{\theta} \{\theta > 0; (X, y) \in P^K(X)\} \quad (10)$$

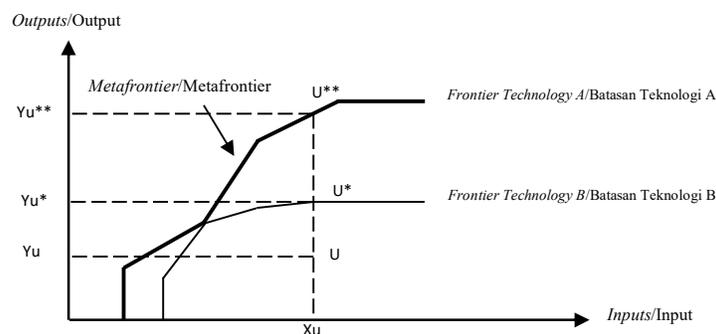
Misalkan Efisiensi Teknis Kelompok (GTE) dan Meta-Efisiensi Teknis (TME) menunjukkan efisiensi teknis dari meta frontier, dan (meta-TE) menunjukkan efisiensi teknis di setiap wilayah (kelompok frontier) atau wilayah-TE (Gambar 1). Dalam hal ini, hasil analisis di kelompok frontier dan meta-frontier akan menghasilkan rasio kesenjangan teknologi (TGR) atau rasio meta-teknologi (MTR), masing-masing yang direpresentasikan dalam Persamaan 11.

$$0 < TGR = \frac{MEE}{GEE} \leq 1 \quad (11)$$

Jika TGR mendekati 1, heterogenitas teknologi lebih rendah, dan kelompok frontier akan lebih dekat dengan meta frontier dan sebaliknya (Chiu, et al, 2012).

Zhuo & Shunfeng (2008) juga mendefinisikan TGR (*Technology Gap Ratio*) sebagai nilai *output* tertinggi yang terdapat/mungkin ada pada suatu wilayah yang dibagi dengan *output meta-frontier* pada sejumlah input yang diberikan. Sementara itu, efisiensi teknis relatif terhadap *meta-frontier* didefinisikan sebagai *output* riil dari suatu perusahaan dibagi dengan *output* tertinggi yang mungkin pada *meta-frontier*. Fungsi produksi *meta-frontier* dapat diestimasi dengan menemukan cakupan komponen deterministik dari estimasi *stochastic frontier* untuk berbagai kelompok/wilayah.

Gambar 2 mendeskripsikan fungsi *meta-frontier* yang diperoleh dengan mengoperasikan dua pendekatan model DEA. Medal-Bartual et al., (2012) menyatakan bahwa model *meta-frontier* mencakup kombinasi input dan *output* yang direpresentasikan dengan berbagai set teknologi.



**Gambar 2. Fungsi Meta-Frontier Non-Concave**

Sumber: Medal-Bartual et al., (2012)

Sebagai contoh pada gambar 2, estimasi model *meta-frontier non-concave* mencakup dua tahap. *Pertama*, skor efisiensi teknis diestimasi untuk setiap unit dalam kaitannya dengan teknologi produksi frontier. Maka, rasio jarak antara  $\bar{X}u\bar{U}$  dan  $\bar{X}uU^*$  menggambarkan skor efisiensi berorientasi *output* pada teknologinya sendiri, jika unit U termasuk dalam teknologi B. *Kedua*, estimasi skor efisiensi unit U dalam kaitannya dengan produksi frontier pada teknologi A, rasio jarak antara  $\bar{X}u\bar{U}$  dan  $\bar{X}uU^{**}$  menentukan indeks efisiensi. Jika skor efisiensi yang menggunakan teknologi B lebih tinggi dari pada skor efisiensi yang menggunakan teknologi A, maka hasil tersebut menunjukkan bahwa unit yang dievaluasi dapat lebih banyak beroperasi dengan menggunakan teknologi A ketika level input konstan. Oleh karena itu analisis komparatif ini memungkinkan untuk lebih mengetahui teknologi yang menggambarkan model *meta-frontier* pada level input sekitar  $Xu$ .

Sebelum mengestimasi Meta-Frontier menggunakan persamaan di atas, peneliti harus memastikan bahwa ada perbedaan efisiensi antar grup/wilayah yang sudah dikelompokkan dalam penelitian ini. Tidaklah tepat jika menggunakan analisis Meta-Frontier sebelum mengukur heterogenitas grup/wilayah menggunakan uji statistik.

Untuk menjawab tujuan ini, peneliti menggunakan ekstensi dari Uji Mann-Whitney U untuk menganalisis tiga kelompok atau lebih yang tidak memerlukan distribusi normal dari variabel yang dianalisis yaitu uji non-parametric Kruskal Wallis (McKight & Najab, 2010, Sawilowsky & Fahoome, 2014, Brown & Hettmansperger, 2002, Weaver, et al., 2017).

Uji Kruskal Wallis berfungsi untuk membedakan hipotesis bahwa kelompok kuantitatif yang sudah dibagi atau  $k$  sampel telah diperoleh dari populasi yang sama, asalkan dari sampel tersebut terdapat perbedaan yang signifikan. Oleh karena hipotesis yang dibangun untuk membandingkan masing-masing grup adalah sebagai berikut:

$H_0 = k$  sampel dari populasi yang sama

$H_1 =$  beberapa sampel dari populasi yang lain Dari pengujian ini hipotesis nol dapat diterima apabila nilai- $p$  atau tingkat signifikansi lebih besar dari 5% (0.05) sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel pengujian hasilnya sama dan tidak berbeda nyata satu dengan yang lainnya. Sebaliknya apabila hipotesis nol ditolak, yaitu nilai- $p$  lebih kecil atau tingkat signifikansi lebih kecil atau sama dengan 5% (0.05), maka dapat disimpulkan bahwa sampel yang diuji adalah sama dan berbeda nyata satu dengan yang lainnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Deskriptif Statistik

Bagian ini menyajikan data deskriptif statistik dari variabel input dan output produksi yang digunakan dalam penelitian ini, yang meliputi definisi operasional variabel, rata-rata, dan standar deviasi. Terdapat 7 input yang meliputi bibit, luas lahan, tenaga kerja, periode budidaya, tali polietilen (rit), Bahan Bakar Minyak (BBM), dan dummy teknik budidaya. Tabel 1 menunjukkan bahwa rata-rata produksi rumput laut mencapai 2574.95 kg/panen/petani, dengan luas lahan rata-rata 1,0881 hektar. Perhitungan luas lahan berdasarkan luasan ancak (bambu) dan tali polietilen yang digunakan dalam budidaya rumput laut. Tali polietilen (rit) yang digunakan rata-rata 353.76

Meter. Bibit rumput laut yang digunakan adalah jenis *Eucheuma Cottonii* dengan rata-rata per musim 2,308.4 kg. Tenaga Kerja yang digunakan hanya pada saat kegiatan tanam dan panen saja yakni berkisar rata-rata 8-13 orang. Hal ini bergantung dengan keknik Budidaya yang digunakan. Di tiga kabupaten di atas menggunakan teknik budidaya rakit apung dan *longline* (garis panjang) yang membutuhkan tenaga kerja lebih sedikit. Rumput laut sendiri memiliki usia panen yang relatif singkat yakni berkisar antara 35-45 hari. Selain itu dalam kegiatan produksi BBM yang dibutuhkan oleh petani rumput laut, rata-rata berkisar 285.7 Liter dalam satu kali produksi.

**Tabel 1. Deskriptif Statistik**

Variabel	Definisi	Rata-Rata	Std. Deviasi
<i>Output</i>			
Produksi	Jumlah rumput laut yang diproduksi dalam satu kali panen (kg)	2574.95	643.03
<i>Input</i>			
Luas Lahan	Luas lahan yang digunakan untuk produksi (ha)	1.0881	2.33178
Tenaga Kerja	Jumlah tenaga kerja baik dalam keluarga dan luar keluarga yang digunakan dalam produksi (orang)	9.12	8.78101
Periode Budidaya	Jumlah hari produksi (hari)	37.7667	2.49406
Tali Polietilen	Tali yang digunakan untuk mengikat rumput laut saat produksi (meter)	353.76	340.410
Bibit	Bibit rumput laut yang digunakan saat produksi	2,308.4	1229.9611
Bahan Bakar Minyak	Jumlah BBM yang digunakan untuk kegiatan produksi (liter)	285.7	296.3701
Dummy Teknik Budidaya	<i>Dummy</i> Teknik budidaya yang dipakai oleh petani rumput laut, rakit apung = 1 dan <i>longline</i> = 0	0.6	0.4915

Sumber: Data Primer diolah (2024)

### Uji Perbedaan Efisiensi Antar Wilayah

**Tabel 2. Uji Kruskal-Wallis**

<i>Chi-squared</i>	17.335
<i>Degree of freedom</i>	4
<i>p-value</i>	0.004

Dari tabel 2 di atas tiga wilayah yang mencakup produsen rumput laut di Jawa Timur (Sumenep, Situbondo, Banyuwangi) telah diterapkan untuk menggunakan uji efisiensi. Hasil uji Kruskal Wallis di atas menunjukkan bahwa nilai *p-value* lebih kecil dari taraf signifikansi 99% (0.01) yakni dengan *p-value* 0.008, yang berarti bahwa hipotesis nol ditolak dan sampel yang diuji berbeda nyata antara satu dengan yang lainnya. Akhirnya, dapat disimpulkan bahwa nilai signifikansi tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nyata antar kelima kelompok industri pengolahan perikanan dan layak untuk diuji atau diestimasi dengan menggunakan pendekatan meta-frontier.

### Analisis Efisiensi Teknis dan Gap Teknologi, Manajerial dan Lingkungan di antara wilayah produksi Rumput Laut.

Perbedaan efisiensi teknis di setiap wilayah penelitian sering kali terjadi karena variasi dalam kapasitas input yang menghasilkan output yang berbeda-beda. Analisis individu pada lokasi penelitian biasanya menunjukkan bahwa setiap wilayah menggunakan teknologi yang berbeda, yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti ketersediaan sumber daya dan kondisi iklim (Rahman et al., 2019). Hal ini menyebabkan kesulitan dalam menggabungkan efisiensi teknis di berbagai wilayah (Shah, et al., 2022; Adeleke, et al., 2021; Syafriah et al., 2021). Variasi dalam input lingkungan produksi (misalnya, sumber daya dan teknologi) menyebabkan nilai efisiensi teknis tidak dapat sepenuhnya mencerminkan perbedaan antar wilayah. Dalam konteks ini, meta-analisis bisa menjadi alternatif penting untuk menilai efisiensi teknis lintas wilayah. Tabel 3

menyajikan perbandingan efisiensi teknis di seluruh lokasi penelitian dengan menggunakan meta-analisis, mencakup rata-rata efisiensi teknis per wilayah atau kelompok (GTE), meta-efisiensi teknis (TME), dan rasio gap teknologi (TGR).

**Tabel 3. Perbandingan Efisiensi Teknis di Lokasi Penelitian**

Nilai TE	Sumenep		Situbondo		Banyuwangi	
	Nomor	%	Nomor	%	Nomor	%
1.000	57	63.33	7	23.33	12	40
0.822-0.999	9	10	4	13.33	9	30
0.644-0.821	6	6.67	9	30	4	13.33
0.466-0.643	11	12.22	1	3.33	2	6.67
0.388-0.465	7	7.78	9	30	3	10
Total	90	100	30	100	30	100
Mean	0.921		0.775		0.862	
Std. Deviasi	0.352		0.228		0.217	
Rata-Rata dari Semua DMU	0.853					
Std. Deviasi	0.119					

Sumber: Data primer diolah (2024)

Tabel 3 menunjukkan bahwa dalam penelitian ini dari keseluruhan 150 responden, rata-rata Nilai Meta-frontier untuk tiga Kabupaten sebesar 0.853. Nilai ini menunjukkan bahwa rata-rata petani bisa menghemat input sebesar 14.7% tanpa membahayakan output yang dihasilkan. Selain itu, 57 petani di Kabupaten Sumenep (63.33%), 7 Petani di Kabupaten Situbondo (23.33%), dan 12 petani di Kabupaten Banyuwangi (40%), telah mencapai tingkat efisiensi penuh (TE = 1). Petani yang memiliki nilai efisiensi teknis sempurna, bisa menjadi mentor kepada petani lain dalam memaksimalkan nilai efisiensi dan keuntungan produksi. Namun yang perlu menjadi catatan yaitu skor Efisiensi Teknis 0.388 – 0.999 atau 74 dari keseluruhan responden, masih belum beroperasi secara efisien, sehingga perlu untuk meminimalkan penggunaan input produksi hingga 85.3%.

Dari ketiga wilayah tersebut, Kabupaten Situbondo memiliki tingkat efisiensi terendah. Berdasarkan wawancara dengan ketua Gabungan Kelompok Tani (Gapoktan) Desa Gelung, Kecamatan Situbondo, Kabupaten Situbondo mengatakan bahwa hal tersebut disebabkan karena beberapa faktor, yaitu tercemarnya air di bibir pantai oleh limbah produksi pabrik yang terdapat disekitar wilayah tersebut, sehingga menyebabkan air pantai menjadi keruh, dan hasil rumput laut menjadi keriting. Selain itu kualitas rumput laut yang secara kadar kekeringan rumput laut yang dikirim jauh dari standar ekspor.

### Grup TE/Grup EE

Tabel 4 menunjukkan rata-rata nilai meta-efisiensi teknis (meta-TE) di tiga lokasi penelitian. Kabupaten Sumenep tampil sebagai wilayah paling efisien, sedangkan Kabupaten Situbondo dan Banyuwangi menunjukkan tingkat efisiensi teknis yang hampir setara. Rata-rata efisiensi teknis para petani di seluruh lokasi penelitian lebih rendah dibandingkan dengan tingkat regional atau kelompok. Perbedaan ini disebabkan oleh penggunaan data dari seluruh sampel di berbagai lokasi penelitian dalam analisis efisiensi meta-teknis. Petani dengan efisiensi teknis tertinggi di tingkat meta dapat dijadikan contoh bagi petani lainnya. Sebaliknya, efisiensi teknis di tingkat kelompok hanya mencerminkan efisiensi teknis terbaik di dalam kelompok tersebut.

**Tabel 4. Skor Grup Meta-Frontier, Meta Efisiensi Teknis, dan Total Gap Rasio**

Location	TE Wilayah/GEE	Meta-TE/MEE	TGR=MTR	
Mean	Sumenep	0.882	0.951	0.927
	Situbondo	0.722	0.807	0.894
	Banyuwangi	0.764	0.811	0.942
Std. Deviation	Sumenep	0.331	0.178	0.251
	Situbondo	0.365	0.305	0.211
	Banyuwangi	0.219	0.344	0.189

Sumber: Data primer diolah (2024)

Efisiensi lingkungan kelompok (GEE) mencerminkan nilai efisiensi teknis kelompok (GTE). Dari hasil analisis, Kabupaten Sumenep memiliki nilai GEE tertinggi, sedangkan Kabupaten Situbondo memiliki nilai terendah. Nilai GEE untuk Kabupaten Banyuwangi dan Situbondo hampir sama, mendekati nilai ambang batas  $GTE/GEE (= 1.00)$ . Temuan ini menunjukkan bahwa sebagian besar unit pengambil keputusan (DMU) di Banyuwangi dan Situbondo menerapkan metode budidaya yang serupa, yaitu menggunakan sistem *longline* (garis panjang) untuk budidaya rumput laut. Hal ini menghasilkan efisiensi rata-rata yang relatif seragam dan mendekati ambang batas GEE. Namun, GEE di Kabupaten Situbondo lebih rendah dibandingkan dua kabupaten lainnya, yang menunjukkan adanya tingkat heterogenitas yang lebih besar dalam penggunaan input dan/atau output di wilayah tersebut. Variasi ini terutama dipengaruhi oleh perbedaan dalam pengambilan keputusan oleh para petani. Potensi minimalisasi input di wilayah ini adalah sekitar 28%, yang dapat dicapai dengan penyesuaian dalam keputusan manajerial (Muhtar & Makkulawu, 2023) dan kombinasi input (Lin & Zhao, 2016).

### Skor MEE/MTE

Efisiensi lingkungan meta-frontier (MEE) atau efisiensi meta-teknologi (MTE) menunjukkan nilai efisiensi teknis di seluruh DMU. Perbedaan nilai MEE/MTE antar wilayah mencerminkan perbedaan konsumsi input antar wilayah (Medal-Bartual *et al.*, 2014). Rendahnya *Meta Technical Efficiency* (MTE) dalam budidaya rumput laut dapat disebabkan oleh beberapa faktor, baik yang bersifat teknis, lingkungan, maupun sosial-ekonomi. Seperti beberapa wilayah mungkin belum memiliki akses terhadap teknologi budidaya modern yang bisa meningkatkan efisiensi produksi. Teknologi lama atau kurang optimal menghambat kemampuan petani untuk memaksimalkan output dari input yang ada (García-Poza, *et al.*, 2020). Faktor-faktor seperti kualitas air, suhu, arus laut, dan ketersediaan nutrisi alami di lingkungan tumbuh rumput laut sangat mempengaruhi pertumbuhan dan hasil produksi. Kondisi yang suboptimal di beberapa wilayah dapat mengurangi efisiensi teknis (Spillias, *et al.*, 2023). Disamping itu juga, beberapa daerah menghadapi masalah keterbatasan dalam hal akses ke sumber daya seperti bibit unggul, pupuk, atau input lain yang diperlukan untuk produksi rumput laut. Ini dapat menyebabkan inefisiensi dalam proses produksi (García-Poza, *et al.*, 2020).

Kabupaten Situbondo dan Banyuwangi memiliki nilai MEE yang hampir sama (0.807 dan 0.811), keduanya lebih rendah dari MEE Kabupaten Sumenep (0.951). Hal ini menunjukkan bahwa input penggunaan di kedua Kabupaten tersebut lebih rendah atau kurang efisien dibandingkan dengan Kabupaten Sumenep. Penggunaan input produksi rumput laut di Kabupaten Sumenep lebih efisien dibandingkan dengan Situbondo dan Banyuwangi karena beberapa faktor. Sumenep memiliki akses yang lebih baik terhadap teknologi budidaya, bibit unggul, dan pelatihan teknis. Wilayah dengan kepemilikan bibit unggul dan terdapat pelatihan teknis didalamnya akan dapat meningkatkan produktifitas (Singh, *et al.*, 2023). Selain itu, petani di Sumenep secara konsisten menerapkan metode budidaya yang lebih konsisten seperti sistem rakit apung yang memungkinkan pengelolaan sumber daya yang lebih optimal. Kondisi lingkungan yang lebih stabil dan akses terhadap pasar yang lebih baik juga turut mendukung efisiensi di Sumenep dibandingkan daerah lain.

### Skor TGR/MTR

Selanjutnya jika dilihat dari Tabel 4 di atas, grup frontier dan meta-frontier juga bisa digunakan untuk menghitung nilai Total Gap Ratio (TGR). Hasil dari TGR menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai TGR maka semakin kecil kesenjangan (gap) antara grup frontier dan meta-frontier. TGR di Kabupaten Banyuwangi menunjukkan nilai tertinggi yaitu 0.942, artinya petani rumput laut yang terdapat di wilayah ini memiliki potensi peningkatan performa budidayanya sebesar 5.8%. Banyuwangi memiliki perairan yang sangat sesuai untuk budidaya rumput laut dengan sistem *longline* (garis panjang), yang banyak diterapkan oleh para petani. Kondisi lingkungan yang mendukung seperti kualitas air, suhu, dan salinitas menjadikan wilayah ini cocok untuk pertumbuhan rumput laut secara optimal. Pemerintah daerah Banyuwangi juga telah berfokus pada pengembangan budidaya rumput laut sebagai salah satu strategi ekonomi berbasis maritim untuk mendukung kesejahteraan masyarakat pesisir.

Skor TGR terendah yaitu di Kabupaten Situbondo dengan nilai efisiensi 0.894. Hal itu dikarenakan Salah satu masalah utama yang dihadapi petani rumput laut di Situbondo adalah kurangnya

keterampilan dan pengetahuan mengenai teknik budidaya yang baik. Meskipun ada pelatihan yang diselenggarakan oleh Dinas Peternakan dan Perikanan menggunakan Dana Bagi Hasil Cukai Hasil Tembakau (DBHCHT), banyak petani yang masih belum sepenuhnya memanfaatkan teknologi modern dalam proses budidaya. Selain itu, masalah lingkungan seperti perubahan kualitas air laut juga berdampak negatif pada produktivitas rumput laut. Polusi laut dan suhu air yang tidak stabil sering kali menyebabkan penurunan hasil panen, sementara kebutuhan pasar yang semakin meningkat membuat tantangan ini semakin berat. Faktor lain seperti fluktuasi harga dan ketersediaan bibit berkualitas juga mempengaruhi stabilitas ekonomi para petani.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis Efisiensi teknis, Secara berturut-turut wilayah dengan tingkat efisiensi = 1 yaitu Kabupaten Sumenep (63.33%), Kabupaten Banyuwangi (40%), dan Kabupaten Situbondo (23.33%). lebih dari 50% unit pengambil keputusan (DMU) di Kabupaten Sumenep telah mencapai efisiensi sempurna ( $TE=1$ ), sementara dua kabupaten lainnya belum mencapai 50% dari DMU-nya. Lebih lanjut, rata-rata efisiensi teknis DMU di ketiga lokasi penelitian adalah 85.3%. Hal ini menunjukkan bahwa DMU tersebut masih dapat meningkatkan efisiensi teknisnya hingga 14.7%. Nilai rata-rata TGR menunjukkan variabilitas yang rendah, tetapi perbedaan tetap ada. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga lokasi penelitian menerapkan praktik produksi, metode, dan ketersediaan sumber daya yang berbeda. Namun, Kabupaten Banyuwangi memiliki nilai TGR tertinggi di antara ketiga lokasi penelitian, mendekati ambang batas 1. Hal ini mengindikasikan kesenjangan teknologi yang relatif rendah di wilayah ini.

Diantara kelima grup/wilayah di atas masih ada yang belum mencapai nilai efisiensi maksimal. Maka oleh sebab itu perlu beberapa kebijakan-kebijakan yang diambil untuk meningkatkan nilai efisiensi, yaitu, 1) Pemerintah daerah bekerja sama dengan lembaga pendidikan dan pusat riset perikanan untuk menyediakan program pelatihan yang berkelanjutan bagi petani. Fokusnya adalah pada peningkatan keterampilan manajerial, penerapan teknologi modern, dan teknik budidaya yang lebih efisien. 2) Memberikan subsidi atau insentif kepada petani untuk membeli teknologi yang relevan, alat pemantau kualitas air otomatis, dan teknologi pengolahan bibit yang lebih efisien. Dengan teknologi yang lebih baik, petani dapat meningkatkan produktivitas dan efisiensi. 3) Mendorong penggunaan aplikasi atau platform digital untuk memantau kondisi lingkungan perairan dan mengelola siklus produksi. Ini bisa berupa aplikasi yang memberikan informasi real-time tentang suhu air, kualitas air, atau harga pasar. Dan 4) Mendirikan pusat distribusi dan pengolahan rumput laut di daerah-daerah yang belum efisien dapat membantu meningkatkan daya saing petani. Ini juga mengurangi ketergantungan petani terhadap tengkulak dan meningkatkan nilai tambah produk.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah terlibat dalam kegiatan penelitian ini. Khususnya kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Riset dan Teknologi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi. yang telah memberikan sumbangsih dana Penulis dalam kegiatan Penelitian Dosen Pemula (PDP) Tahun 2024.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adeleke, H. M., Titilola, O. L., Fanifosi, G. E., Adeleke, O. A., & Ajao, O. A. (2021). Food crop productivity in Nigeria: An estimation of technical efficiency and technological gap ratio. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(3).
- Alin, J. M., Eranza, D. R. D., & Kinabalu, K. (2018). Some Small Scale Seaweed Farmers in the Divided Island of Sebatik are Technically More Efficient than Others?. *Climate Change And Campus Sustainability*, (5RCCS2018), 53.
- Anam, M. K. (2021). The Efficiency of Fisheries Processing Industry in Indonesia Using Data Envelopment Analysis (DEA). *Agrikan Jurnal Agribisnis Perikanan*. 14(2), 704-712.

- Anam, M. K., & Prihatini, E. S. (2022). Analisis Efisiensi Teknis dan Gap Teknologi Industri Pengolahan Perikanan di Indonesia: Pendekatan Metafrontier DEA. *Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*. 17(2), 227-239.
- Anam, M. K., & Suhartini, S. (2020). Efficiency of Palm Oil Companies in Indonesia: A DEA Approach. *HABITAT*. 31(2), pp.55–63.
- AR, N. H., Asmara, R., & Fahriyah, F. (2023). Technology gap ratio decomposition in sugarcane farming in Indonesia. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*. 13(1), 1–7.
- Badan Pusat Statistik. Produksi dan Nilai Produksi Perikanan Budidaya Rumput Laut dan Tambak Intensif Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Budidaya di Provinsi Jawa Timur, 2020\*. (Online). <https://jatim.bps.go.id/statictable/2023/03/01/2422/produksi-dan-nilai-produksi-perikanan-budidaya-rumput-laut-dan-tambak-intensif-menurut-kabupaten-kota-dan-jenis-budidaya-di-provinsi-jawa-timur-2020-.html>. 2023; Diakses pada tanggal 20 Agustus 2024.
- Bhakti, F. K., & Patahiruddin, P. (2021). Efisiensi Input Produksi Pada Budidaya Rumput Laut (*Gracilaria* sp) Di Kota Palopo Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*. 16(1), 63-73.
- Brown, B. & Hettmansperger, T. (2002), Kruskal–Wallis, Multiple Comparisons and Efron Dice. *Australian & New Zealand Journal of Statistics*, 44: 427-438. <https://doi.org/10.1111/1467-842X.00244>
- Buschmann, A.H., Camus, C., Infante, J., Neori, A., Israel, Á., Hernández-González, M.C., Pereda, S.V., Gomez-Pinchetti, J.L., Golberg, A., Tadmor-Shalev, N. and Critchley, A.T. (2017). Seaweed production: overview of the global state of exploitation, farming and emerging research activity. *European Journal of Phycology*. 52(4), 391-406.
- Butcher, H., Burkhart, S., Paul, N., Tiitii, U., Tamuera, K., Eria, T., & Swanepoel, L. (2020). Role of seaweed in diets of Samoa and Kiribati: Exploring key motivators for consumption. *Sustainability*. 12(18), 7356.
- Chiu, C.-R., Liou, J.-L., Wu, P.-I., & Fang, C.-L. (2012). Decomposition of the environmental inefficiency of the meta-frontier with undesirable output. *Energy Economics*. 34(5), 1392-1399
- García-Poza, S., Leandro, A., Cotas, C., Cotas, J., Marques, J. C., Pereira, L., & Gonçalves, A. M. (2020). The evolution road of seaweed aquaculture: cultivation technologies and the industry 4.0. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 6528.
- Hikmah, H. (2015). Strategi Pengembangan Industri Pengolahan Komoditas Rumput Laut *E. Cotonii* Untuk Peningkatan Nilai Tambah Di Sentra Kawasan Industrialisasi. *Jurnal Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*. Vol 5(1), 27-36.
- Jumiati, E., Mubarak, A., Ismandari, T., & Kusnadi, E. (2023). Technical efficiency with stochastic production function frontier of seaweed farming in Pantai Amal, Tarakan City. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. (Vol. 1253, No. 1, p. 012075). IOP Publishing.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. Masa Depan Cerah Industri Rumput Laut Indonesia. (online). <https://indonesia.go.id/kategori/editorial/7495/masa-depan-cerah-industri-rumput-laut-indonesia?lang=1> 2023; Diakses pada tanggal 20 Agustus 2024.
- Lin, B., & Zhao, H. (2016). Technology gap and regional energy efficiency in China's textile industry: a non-parametric meta-frontier approach. *Journal of Cleaner Production*, 137, 21-28.
- McKight, P.E. & Najab, J. (2010). Kruskal-Wallis Test. In *The Corsini Encyclopedia of Psychology* (eds I.B. Weiner and W.E. Craighead). <https://doi.org/10.1002/9780470479216.corpsy0491>
- Medal-Bartual, A., Garcia-Martin, C.-J., & Sala-Garrido, R. (2012). Efficiency analysis of small franchise enterprises through a DEA metafrontier model. *The Service Industries Journal*, 32(15), 2421-2434. <https://doi.org/10.1080/02642069.2012.677829>
- Muhtar, I., & Makkulawu, A. R. (2023). Improvement Strategy of Seaweed Farmer Community for Increasing Capabilities in the Dry-seaweed Supply Chain in Takalar District, Indonesia. *International Journal of Education, Vocational and Social Science*, 2(02), 272-283.

- Naylor, R. L., Hardy, R. W., Buschmann, A. H., Bush, S. R., Cao, L., Klinger, D. H., ... & Troell, M. (2021). A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*. 591(7851), 551-563.
- Nursan, M., Husni, S., Yusuf, M., Fria Utama, A., & Widiyanti, N. M. N. (2022). Production Efficiency Measurement of Seaweed Cultivation in The Specific Economic Zone of Mandalika, Central Lombok Regency. *Jurnal Biologi Tropis*. 22(4), 1390-1396.
- O'Donnell, C. J., Rao, D. S., & Battese, G. E. (2008). Metafrontier frameworks for the study of firm-level efficiencies and technology ratios. *Empirical Economics*. 34(2), 231-255.
- Orbeta, M. L. G., Digal, L. N., Astronomo, I. J. T., Balgos, C. Q., Placencia, S. G. P., Loquias, M. P., & Codog, P. E. (2023). Analyzing factors affecting the technical efficiency of small-scale seaweed farms using a two-stage double bootstrap DEA approach. *Journal of Applied Aquaculture*. 35(1), 123-148.
- Rahman, M. T., Nielsen, R., Khan, M. A., & Asmild, M. (2019). Efisiensi dan heterogenitas lingkungan produksi di akuakultur: pendekatan DEA meta-frontier. *Akuakultur*, 509, 109-139 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.05.002>
- Ramanathan, R. (2003). *An introduction to data envelopment analysis: A tool for performance measurement*. New Delhi: Sage Publication.
- Rimmer, M. A., Larson, S., Lapong, I., Purnomo, A. H., Pong-Masak, P. R., Swanepoel, L., & Paul, N. A. (2021). Seaweed aquaculture in Indonesia contributes to social and economic aspects of livelihoods and community wellbeing. *Sustainability*. 13(19), 10946.
- Sawilowsky, S. & Fahoome, G. (2014). Kruskal-Wallis Test: Basic. In Wiley StatsRef: Statistics Reference Online (eds N. Balakrishnan, T. Colton, B. Everitt, W. Piegorisch, F. Ruggeri and J.L. Teugels). <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat06567>
- Shah WUH, Hao G, Zhu N, Yasmeen R, Padda IUH, Abdul Kamal M (2022) A cross-country efficiency and productivity evaluation of commercial banks in South Asia: A meta-frontier and Malmquist productivity index approach. *PLoS ONE* 17(4): e0265349. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265349>
- Shannon, E., & Abu-Ghannam, N. (2019). Seaweeds as nutraceuticals for health and nutrition. *Phycologia*. 58(5), 563-577.
- Singh, M., Kapoor, S., Bagchi, T., Paul, S., & Kar, S. (2023). Seaweed farming: an environmental and societal perspective. *Industrial Microbiology and Biotechnology: Emerging concepts in Microbial Technology*, 605-641.
- Spillias, S., Kelly, R., Cottrell, R. S., O'Brien, K. R., Im, R. Y., Kim, J. Y., ... & McDonald-Madden, E. (2023). The empirical evidence for the social-ecological impacts of seaweed farming. *PLOS Sustainability and Transformation*, 2(2), e0000042.
- Sudarwati, W., Hardjomidjojo, H., & Setyaningsih, D. (2020). Literature review: potential and opportunities for the development of seaweed agro-industry. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 472, No. 1, p. 012063. IOP Publishing.
- Syafrial, T. H., Rahman, M. S., & Retnoningsih, D. (2021). Dampak adopsi varietas singkong yang lebih baik terhadap efisiensi teknis petani di Indonesia. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 11(4), 269-278. DOI: <https://doi.org/10.18488/journal.ajard.2021.114.269.278>
- Ullah, A., Silalertruksa, T., Pongpat, P., & Gheewala, S. H. (2019). Efficiency analysis of sugarcane production systems in Thailand using data envelopment analysis. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117877.
- Weaver, K.F., Morales, V., Dunn, S.L., Godde, K. & Weaver, P.F. (2017). Kruskal—Wallis. In *An Introduction to Statistical Analysis in Research* (eds K.F. Weaver, V. Morales, S.L. Dunn, K. Godde and P.F. Weaver). <https://doi.org/10.1002/9781119454205.ch8>
- Zamroni, S., dan Ernawati. (2015). *Info Komoditi Rumput Laut* (Jakarta: Badan Pengkajian dan Pengembangan Kebijakan Perdagangan).
- Zhuo, C., & Shunfeng, S. (2008). Efficiency and technology gap in China's agriculture: A regional meta-frontier analysis. *China Economic Review*, 19(2), 287-296. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2007.03.001>