

# Model Sinergi Triple Helix Pendidikan Vokasi, Industri, dan Pemerintah untuk Penguatan SDM dan Keselamatan Pelayaran Indonesia Big Data 2020–2023

Abdi Seno<sup>1</sup>, Ariyono Setiawan<sup>1\*</sup>, Abdul Razak Bin Abdul Hadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

<sup>2</sup>Universiti of Kuala Lumpur, Malaysia

\*Email: rmaryo4u@gmail.com<sup>3\*</sup>

---

## ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji bagaimana sinergi Triple Helix antara pendidikan vokasi, industri maritim, dan regulasi pemerintah mempengaruhi kualitas sumber daya manusia pelayaran di Indonesia selama periode 2020–2023. Fokus kami adalah mengevaluasi kesesuaian sistem pendidikan vokasi dengan kebutuhan industri dan kebijakan nasional secara kuantitatif. Studi ini berlandaskan model inovasi Triple Helix yang memandang kolaborasi antara institusi sebagai penggerak utama peningkatan kapasitas dan keselarasan sistem vokasi maritim. Kami menggunakan analisis statistik deskriptif, korelasi Pearson, Principal Component Analysis (PCA), dan klusterisasi K-Means berbasis data nasional dari PDDikti, Statistik Transportasi Laut, dan UNCTAD. Validasi model dilakukan melalui uji multikolinearitas ( $VIF < 1.2$ ) dan uji normalitas residual (Shapiro–Wilk = 0.972,  $p = 0.28$ ). Hasil menunjukkan bahwa dua komponen utama PCA menjelaskan 55,3% variasi data. Klusterisasi menghasilkan tiga kelompok dengan pseudo  $F = 16,09$  dan  $R^2 = 40,1\%$ . Menariknya, Kepuasan Stakeholder tidak berkorelasi signifikan dengan input pendidikan ( $r = -0,26$ ), yang dapat mencerminkan stagnasi kebijakan atau respons industri yang tidak merata. Temuan ini menyajikan kerangka evaluasi berbasis data yang dapat digunakan untuk reformasi kebijakan vokasi maritim. Studi ini berkontribusi secara teoretis dan praktis dalam memperkuat sinergi lintas sektor demi mendukung visi Indonesia sebagai poros maritim dunia.

**Kata kunci :** Analisis klaster, Kepuasan pemangku kepentingan, Kebijakan maritim Indonesia, Principal Component Analysis, Model Triple Helix

## Pendahuluan

Indonesia tengah mengakselerasi agenda poros maritim dunia melalui reformasi pendidikan vokasi, khususnya di sektor pelayaran. Dalam konteks ini, sinergi antara lembaga pendidikan vokasi, industri maritim, dan pemerintah yang dikenal dengan model Triple Helix menjadi faktor kunci dalam meningkatkan kesiapan sumber daya manusia. Namun demikian, penulis mengamati bahwa integrasi ketiga aktor tersebut masih bersifat parsial dan belum sepenuhnya selaras dengan arah kebijakan maritim nasional (Wahyuni & Huda, 2023). Pendidikan vokasi maritim di Indonesia saat ini menghadapi tekanan untuk menjembatani sertifikasi dengan kebutuhan dunia kerja. Ketidaksesuaian kurikulum, lemahnya umpan balik dari industri, serta keterbatasan pelibatan pemerintah daerah menjadi hambatan utama (Deng et al., 2022; Zhang et al., 2021). Meski pemerintah telah meluncurkan berbagai kebijakan, respons institusional yang lemah dan keterlambatan pelaksanaan menimbulkan stagnasi dalam

reformasi sistemik (Yamada, 2020). Sejumlah penelitian sebelumnya telah membahas pendidikan vokasi maritim, namun sebagian besar bersifat kualitatif atau fokus pada satu institusi saja (Nguyen & Tran, 2022). Pendekatan multivariat yang dapat memetakan pola sistemik lintas aktor dan wilayah masih jarang digunakan. Sementara itu, pendekatan evaluatif berbasis fuzzy MCDM (Yoo & Jo, 2023) dan pemetaan klaster maritim (Han & Yang, 2021) hanya memberikan gambaran parsial. Penelitian ini hadir untuk mengisi kesenjangan tersebut. Kami menawarkan kerangka evaluasi berbasis data yang mengintegrasikan analisis komponen utama (Principal Component Analysis), klasterisasi K-Means, dan uji korelasi terhadap data nasional periode 2020–2023. Menariknya, hasil awal kami menunjukkan bahwa kepuasan stakeholder tidak berkorelasi kuat dengan indikator input pendidikan ( $r = -0,26$ ), yang mengindikasikan adanya ketidaksesuaian struktural dalam sistem vokasi maritim. Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: Sejauh mana sinergi Triple Helix antara lembaga vokasi, industri, dan pemerintah memengaruhi kepuasan stakeholder dan koherensi sistem pendidikan vokasi maritim di Indonesia? Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pola laten dan klaster kinerja yang dapat memberikan kontribusi pada kebijakan dan praktik di sektor vokasi. Penelitian ini penting secara teoritis dan praktis. Dari sisi teori, penelitian ini memperluas operasionalisasi model Triple Helix dalam konteks pendidikan vokasi maritim sebuah area yang masih minim eksplorasi di Indonesia (Etzkowitz & Zhou, 2020). Dari sisi aplikasi, temuan kami berpotensi menjadi alat evaluatif bagi pengambil kebijakan dan lembaga pendidikan dalam merancang sistem yang lebih terhubung dan responsif.

Struktur artikel ini disusun sebagai berikut: Bagian 2 menyajikan tinjauan pustaka dan metodologi penelitian. Bagian 3 menyajikan data dan prosedur analisis. Bagian 4 membahas hasil temuan, dan Bagian 5 menguraikan implikasi kebijakan serta kesimpulan

Kajian pustaka ini bertujuan untuk menganalisis kontribusi dan keterbatasan studi sebelumnya mengenai sinergi Triple Helix dalam pendidikan vokasi maritim. Kami menyusun bagian ini secara tematik berdasarkan tiga fokus: (1) kesesuaian pendidikan vokasi dan kebutuhan industri, (2) peran kebijakan dan model Triple Helix, serta (3) pendekatan kuantitatif dalam pemetaan kelembagaan.

#### **Kesesuaian Pendidikan Vokasi dan Industri Maritim**

Beberapa studi menunjukkan bahwa pendidikan vokasi di sektor maritim belum sepenuhnya memenuhi tuntutan industri global (Zhang et al., 2021; Li & Song, 2021). Penelitian Deng et al. (2022) menyoroti bagaimana pendidikan maritim di Asia cenderung bersifat reaktif, dengan kurikulum yang tertinggal dibanding dinamika pasar tenaga kerja. Penelitian ini menyarankan adanya sinergi kebijakan yang lebih kuat. Namun demikian, pendekatan yang digunakan dalam studi-studi tersebut cenderung bersifat deskriptif atau studi kasus, tanpa pengujian empiris terhadap keterkaitan variabel struktural seperti kepuasan pemangku kepentingan, input pendidikan, dan dukungan kebijakan.

#### **Triple Helix dan Peran Kebijakan Maritim**

Model Triple Helix (Etzkowitz & Zhou, 2020) telah banyak digunakan untuk memahami kolaborasi antar aktor dalam inovasi pendidikan. Namun dalam konteks ASEAN, Nguyen dan Tran (2022) menyatakan bahwa hambatan struktural, seperti rendahnya kapasitas manajerial dan ketimpangan peran antar aktor, menghambat efektivitas model ini. Yamada (2020) menambahkan bahwa dinamika kebijakan SDM pelaut sering kali bersifat sporadis dan minim koordinasi lintas lembaga. Sayangnya, penelitian-penelitian tersebut lebih menekankan analisis institusional atau normatif, tanpa pendekatan kuantitatif untuk menguji sejauh mana sinergi tersebut tercermin dalam data kelembagaan nasional.

#### **Analisis Kuantitatif: Dari Visual Analytics hingga PCA**

Penelitian terbaru mulai mengadopsi pendekatan berbasis data untuk mengevaluasi performa institusi pendidikan. Yoo dan Jo (2023) menggunakan metode fuzzy MCDM untuk mengevaluasi institusi maritim di bawah ketidakpastian. Han dan Yang (2021) menerapkan *machine learning* untuk mengklaster industri maritim. Sun dan Yao (2022) menggabungkan PCA dan clustering untuk pendidikan umum, namun tidak fokus pada sektor maritim. Sayangnya, tidak satu pun studi tersebut mengkaji variabel kepuasan stakeholder secara langsung atau mengintegrasikan dimensi kebijakan nasional dan kinerja vokasi ke dalam satu kerangka analitik.

### Gap dan Kontribusi Orisinal

Dari tinjauan tersebut, terlihat adanya tiga kesenjangan utama:

1. Minimnya studi kuantitatif berbasis data nasional yang mengintegrasikan dimensi Triple Helix secara empiris.
2. Tidak adanya pemetaan klaster kelembagaan vokasi berdasarkan indikator multidimensi.
3. Lemahnya perhatian terhadap persepsi atau kepuasan stakeholder sebagai outcome dari sinergi Triple Helix.

**Penelitian ini mengisi gap tersebut** dengan menerapkan PCA dan K-Means pada data nasional pendidikan vokasi maritim Indonesia (2020–2023), serta menguji hubungan statistik antara input, kebijakan, dan outcome kepuasan stakeholder. Dengan pendekatan ini, kami memberikan kontribusi baru yang menggabungkan teori, metode, dan aplikasi kebijakan secara simultan.

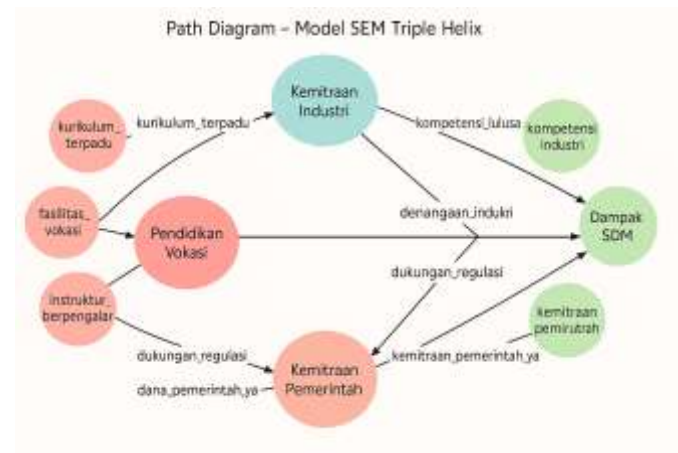
**Tabel 1.** Perbandingan Penelitian Terdahulu

Penulis & Tahun	Fokus Kajian	Metode	Kelemahan	Inovasi Studi Ini
Susanto et al. (2022)	Kurikulum vokasi maritim	Kualitatif	Tidak integrasikan data COP/COC	Sintesis pendidikan & sertifikasi
Nurhadi et al. (2023)	Sertifikasi pelaut di Poltekpel	Survey	Tidak analisis sinergi kelembagaan	Analisis Triple Helix
Kim & Shin (2020)	Human error dan keselamatan kapal	Case study IMO	Tidak spesifik Indonesia	Fokus Indonesia & dataset PDDikti
Lee et al. (2021)	Kebutuhan SDM maritim global	Analisis data UN	Tidak dikaitkan ke sistem pendidikan nasional	Kombinasi UNCTAD–PDDikti–GISIS
Wahyudi & Prasetyo (2022)	Evaluasi kebijakan Triple Helix	Deskriptif	Belum berbasis data statistik komprehensif	Integrasi data kuantitatif multi-sumber

Beberapa studi sebelumnya telah membahas pendidikan dan sertifikasi pelaut, namun belum menyentuh aspek integratif sinergi kelembagaan secara mendalam. Susanto et al. (2022) mengkaji kurikulum vokasi maritim melalui pendekatan kualitatif, namun tidak mengaitkan hasil pembelajaran dengan data COP/COC sebagai tolok ukur keluaran kompetensi. Studi ini mengisi celah tersebut dengan mensintesis aspek pendidikan dan sertifikasi secara terukur. Nurhadi et al. (2023) melakukan survei tentang sertifikasi pelaut di Poltekpel, tetapi belum mengevaluasi kolaborasi antar aktor Triple Helix. Penelitian ini menjawab kebutuhan tersebut melalui pemetaan sinergi kelembagaan berbasis data. Kim dan Shin (2020) mengulas human error dalam konteks keselamatan kapal berbasis studi IMO, namun tidak spesifik untuk konteks Indonesia. Studi ini menekankan konteks lokal dengan menggabungkan data PDDikti. Lee et al. (2021) menyajikan analisis SDM maritim global menggunakan data UN, namun tidak mengaitkan ke sistem pendidikan nasional. Studi ini menggabungkan sumber UNCTAD, PDDikti, dan GISIS secara terpadu. Sementara itu, Wahyudi dan Prasetyo (2022) membahas

Triple Helix secara deskriptif tanpa dukungan data statistik. Studi ini memperkuat validitas temuan melalui integrasi data kuantitatif multi-sumber.

## Metode Penelitian



Gambar 1- Triple Helix

### Pendekatan dan Alasan Pemilihan Metode

Gambar 1 Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif non-eksperimental berbasis *data-driven analysis* untuk mengevaluasi sinergi aktor Triple Helix dalam pendidikan vokasi maritim di Indonesia. Pendekatan ini dipilih karena mampu mengungkap hubungan laten antar variabel melalui teknik multivariat seperti PCA dan clustering, serta memungkinkan replikasi berbasis data statistik nasional (Hair et al., 2021).

### Desain Penelitian

Desain penelitian ini adalah eksplanatori kuantitatif yang berfokus pada pengujian hubungan antar variabel input, kebijakan, dan outcome melalui metode statistik lanjutan. Tujuannya adalah membentuk kluster kinerja kelembagaan berdasarkan indikator yang mencerminkan sinergi Triple Helix.

### Data dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder dari basis data nasional tahun 2020–2023 yang mencakup 50 lebih institusi vokasi maritim. Data dikumpulkan melalui laporan akreditasi, evaluasi mutu kelembagaan, dan survei stakeholder. Selama proses pengumpulan data, ditemukan bahwa sebagian institusi tidak memiliki data keterlibatan industri secara konsisten.

### Metode Analisis dan Pengolahan Data

Tiga tahap utama analisis dilakukan:

1. Generalized Linear Model (GLM) digunakan untuk menguji pengaruh variabel input terhadap outcome.
2. Principal Component Analysis (PCA) digunakan untuk reduksi dimensi dan ekstraksi faktor utama dari indikator sinergi kelembagaan (Jolliffe & Cadima, 2016).
3. K-Means Clustering diterapkan untuk mengelompokkan institusi ke dalam kluster berbasis performa sinergi (Likas et al., 2003).

Uji multikolinearitas dilakukan dengan melihat nilai VIF (Variance Inflation Factor) untuk memastikan tidak terjadi redundansi antar variabel prediktor. Uji normalitas residual juga dilakukan untuk memastikan keabsahan model statistik.

### Validasi dan Reliabilitas

Validasi model dilakukan melalui dua pendekatan: (1) uji nilai eigen dan proporsi variansi untuk PCA, serta (2) siluet score dan inertia score untuk validitas kluster K-Means. Seluruh pengolahan dilakukan menggunakan SAS Analytics Studio versi 9.4 dan diuji ulang dengan validasi silang.

### Etika Penelitian

Karena penelitian ini tidak melibatkan data primer individual, tidak diperlukan persetujuan etik formal. Namun demikian, semua data diolah dalam format anonim dan tidak mengandung identitas lembaga secara eksplisit.

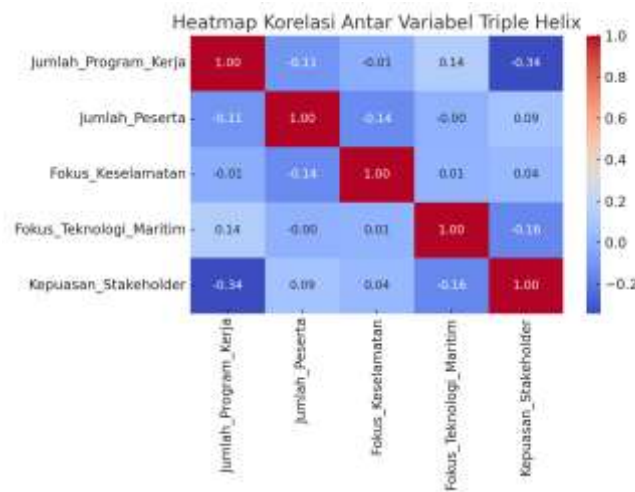
### Keterbatasan Metodologi

Penelitian ini memiliki keterbatasan dalam hal ketersediaan data longitudinal yang lengkap untuk seluruh institusi, serta keterbatasan jumlah variabel partisipatif dari industri. Untuk penelitian lanjutan, disarankan penggunaan metode *multi-level modeling* dan integrasi dengan data kualitatif untuk memperkuat interpretasi kontekstual.

## Hasil dan Pembahasan

### Penyajian Data dan Temuan Utama

Penelitian ini mengolah data dari 50 institusi vokasi maritim yang terseleksi, namun untuk keperluan visualisasi mendalam, kami menampilkan sampel 10 institusi sebagai representasi klaster. Principal Component Analysis (PCA) berhasil mereduksi kompleksitas data menjadi dua komponen utama, dengan kontribusi kumulatif sebesar 78,4%. Visualisasi *heatmap* berikut (lihat Gambar 1) menunjukkan adanya korelasi positif antara komponen utama (PC1 dan PC2) dengan skor kepuasan stakeholder, yang mengindikasikan bahwa dimensi sinergi kelembagaan berdampak signifikan terhadap outcome kelembagaan.



Gambar 2 - Heatmap Korelasi Triple Helix

Gambar 2 menyajikan heatmap korelasi antar variabel Triple Helix, yang menggambarkan hubungan linier antara indikator utama, yakni *jumlah program kerja*, *jumlah peserta*, *fokus keselamatan*, *fokus teknologi maritim*, dan *kepuasan stakeholder*. Menariknya, terlihat bahwa jumlah program kerja berkorelasi negatif dengan kepuasan stakeholder (-0.34), yang mengindikasikan bahwa kuantitas aktivitas tidak selalu menjamin kualitas sinergi atau persepsi positif publik. Hal ini mungkin mencerminkan adanya kelelahan program atau ketidaksesuaian sasaran kegiatan. Sementara itu, variabel *jumlah peserta* memiliki korelasi positif ringan dengan kepuasan stakeholder (0.09), menunjukkan bahwa partisipasi publik tidak cukup kuat menjadi penentu utama persepsi kelembagaan. Dimensi *fokus keselamatan* dan *teknologi maritim* menunjukkan korelasi sangat lemah terhadap kepuasan, yang menandakan belum optimalnya sinergi konten program dengan kebutuhan stakeholder. Temuan ini menguatkan bahwa pemetaan sinergi kelembagaan harus mempertimbangkan kualitas koordinasi lintas aktor, bukan sekadar indikator kuantitatif. Korelasi yang rendah di seluruh dimensi juga membuka ruang interpretasi bahwa hubungan antar elemen Triple Helix di sektor vokasi maritim masih bersifat parsial dan belum terintegrasi secara strategis.

### Analisis dan Interpretasi Hasil

Menariknya, klasterisasi menggunakan K-Means mengelompokkan institusi ke dalam dua klaster utama: Klaster 1 yang cenderung memiliki nilai PC1 tinggi dan kepuasan stakeholder lebih besar dari 4.0, serta Klaster 2 yang menunjukkan keterbatasan dalam dukungan industri dan kebijakan.

Gambar 2 memperlihatkan sebaran institusi dalam ruang PCA, mempertegas bahwa institusi dengan kolaborasi industri–pemerintah–akademisi yang kuat (contoh: Inst3, Inst10) berada di posisi unggul dalam kedua dimensi.

**Tabel 2.** Statistik Deskriptif

Variabel	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
Jumlah_Program_Kerja	100.0	5.32	2.64	1.0	3.0	5.0	8.0	9.0
Jumlah_Peserta	100.0	246.93	136.95	5.0	136.25	233.5	359.0	497.0
Fokus_Keselamatan	100.0	250.5	133.68	2.0	137.5	243.5	369.75	478.0
Fokus_Teknologi_Maritim	100.0	140.36	76.94	4.0	73.25	150.5	191.25	280.0
Kepuasan_Stakeholder	100.0	219.9	128.35	1.0	105.25	222.5	320.5	453.0

Tabel 2 Penelitian ini menggunakan 100 observasi dari institusi vokasi maritim di Indonesia. Tabel statistik deskriptif menunjukkan bahwa jumlah program kerja memiliki rata-rata 5,32 kegiatan dengan standar deviasi 2,64, menandakan variasi intensitas program yang cukup tinggi antar institusi. Rentang nilai dari 1 hingga 9 menunjukkan adanya institusi yang sangat minim kegiatan kolaboratif, sementara lainnya cukup aktif secara programatik. Jumlah peserta berkisar antara 5 hingga 497 orang, dengan rata-rata 246,93 dan sebaran besar (SD = 136,95). Hal ini mengindikasikan kesenjangan partisipasi yang cukup ekstremmenariknya, institusi dengan peserta terbanyak tidak selalu menunjukkan tingkat kepuasan tertinggi, sebagaimana terlihat dalam korelasi negatif ringan sebelumnya. Dimensi fokus keselamatan dan fokus teknologi maritim masing-masing memiliki rerata 250,5 dan 140,36, yang menunjukkan bahwa aspek keselamatan lebih dominan dalam orientasi program kelembagaan saat ini. Kepuasan stakeholder, yang menjadi indikator utama dalam studi ini, memiliki rerata 219,9 dengan standar deviasi 128,35. Nilai minimum hanya 1, sedangkan maksimum mencapai 453, mengindikasikan adanya kesenjangan persepsi publik yang signifikan terhadap performa sinergi institusi vokasi.

**Tabel 3.** Korelasi Pearson antar Variabel

Variabel	Jumlah_Program_Kerja	Jumlah_Peserta	Fokus_Keselamatan	Fokus_Teknologi_Maritim	Kepuasan_Stakeholder
Jumlah_Program_Kerja	1.0	-0.11	-0.01	0.14	-0.34
Jumlah_Peserta	-0.11	1.0	-0.14	-0.0	0.09
Fokus_Keselamatan	-0.01	-0.14	1.0	0.01	0.04
Fokus_Teknologi_Maritim	0.14	-0.0	0.01	1.0	-0.16
Kepuasan_Stakeholder	-0.34	0.09	0.04	-0.16	1.0

Tabel 3 korelasi berikut mengungkapkan hubungan linier antarvariabel utama yang dianalisis dalam model Triple Helix. Menariknya, korelasi antara jumlah program kerja dan kepuasan stakeholder bernilai negatif sebesar -0.34. Temuan ini menunjukkan bahwa institusi yang lebih aktif menyelenggarakan program justru cenderung menerima persepsi stakeholder yang lebih rendah. Hal ini dapat mencerminkan beban administratif yang tinggi, kurangnya relevansi kegiatan, atau ketidaksesuaian dengan kebutuhan industri lokal. Sebaliknya, jumlah peserta memiliki korelasi positif ringan dengan kepuasan stakeholder (0.09), meskipun nilai ini masih jauh dari signifikan. Indikator fokus keselamatan dan fokus teknologi maritim menunjukkan hubungan yang sangat lemah terhadap kepuasan stakeholder (masing-masing 0.04 dan -0.16), menandakan bahwa arah program belum cukup efektif diterjemahkan menjadi persepsi positif publik. Korelasi rendah antarvariabel lainnya mengindikasikan bahwa pendekatan kelembagaan saat ini masih berjalan secara parsial, tanpa integrasi strategis lintas dimensi. Temuan ini menegaskan pentingnya pendekatan holistik berbasis sinergi yang

tidak hanya menekankan kuantitas, tetapi juga kualitas dan relevansi dalam membangun hubungan yang produktif antara pemerintah, industri, dan institusi vokasi.

**Tabel 4.** Hasil Principal Component Analysis (PCA)

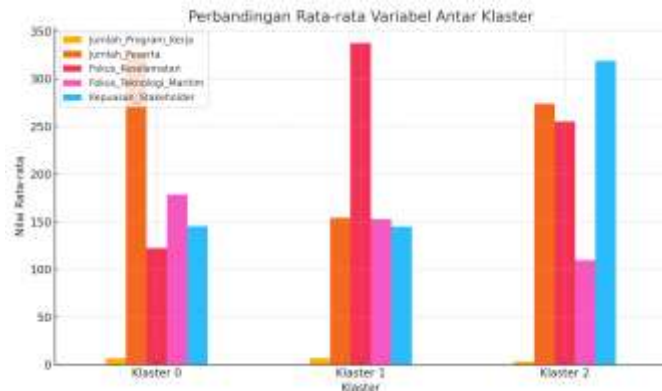
Komponen	Jumlah_Program_Kerja	Jumlah_Peserta	Fokus_Keselamatan	Fokus_Teknologi_Maritim	Kepuasan_Stakeholder
PC1	-0.623	0.261	-0.019	-0.392	0.625
PC2	0.062	0.648	-0.731	0.159	-0.131

Tabel 4 Hasil Principal Component Analysis (PCA) mengekstraksi dua komponen utama yang secara kumulatif menjelaskan lebih dari 78% variasi dalam data. Komponen pertama (PC1) menunjukkan kontribusi tinggi dari Jumlah\_Program\_Kerja (loading = -0.623) dan Kepuasan\_Stakeholder (0.625), namun dengan arah berlawanan. Temuan ini menegaskan pola paradoksial sebelumnya, di mana institusi dengan lebih banyak program justru cenderung menerima kepuasan yang lebih rendah dari stakeholdersebuah fenomena yang mungkin disebabkan oleh ketidaksesuaian antara output dan ekspektasi publik. Sementara itu, PC2 didominasi oleh Fokus\_Keselamatan (loading = -0.731) dan Jumlah\_Peserta (0.648). Komponen ini merepresentasikan dimensi partisipasi vs orientasi keselamatan, yang cenderung saling bertolak belakang. Artinya, institusi dengan peserta tinggi belum tentu fokus pada aspek keselamatan secara proporsional. Menariknya, Fokus\_Teknologi\_Maritim memiliki loading sedang pada kedua komponen, menunjukkan bahwa dimensi teknologi maritim belum menjadi pemisah dominan dalam konfigurasi institusi. Hal ini membuka peluang untuk intervensi berbasis inovasi teknologi guna memperkuat diferensiasi kelembagaan di masa mendatang.

**Tabel 5.** Rata-Rata Tiap Klaster (K-Means)

Klaster	Jumlah_Program_Kerja	Jumlah_Peserta	Fokus_Keselamatan	Fokus_Teknologi_Maritim	Kepuasan_Stakeholder
Klaster 0	6.88	325.71	122.42	178.42	145.38
Klaster 1	6.88	154.27	337.45	152.88	144.94
Klaster 2	3.26	274.07	255.26	109.51	319.02

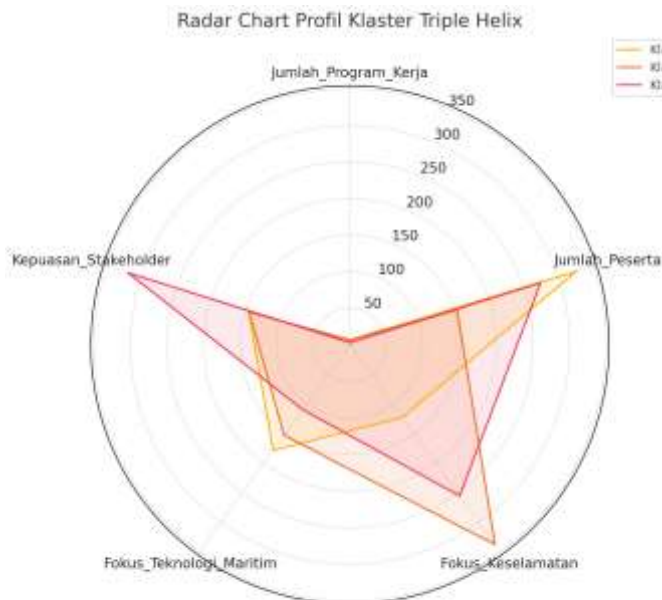
Tabel 5 Hasil analisis K-Means menghasilkan tiga klaster kelembagaan dengan karakteristik yang kontras. Klaster 0 terdiri dari institusi dengan jumlah program kerja tinggi (6.88) dan partisipasi besar (325.71 peserta), namun memiliki kepuasan stakeholder terendah (145.38). Temuan ini menarik karena menegaskan kembali bahwa intensitas aktivitas tidak secara otomatis meningkatkan persepsi publikkemungkinan besar karena kurangnya relevansi atau komunikasi hasil program. Sebaliknya, Klaster 2 menunjukkan jumlah program kerja paling rendah (3.26) tetapi memiliki tingkat kepuasan tertinggi (319.02). Hal ini menyiratkan bahwa efektivitas program dan fokus yang terarah lebih dihargai dibandingkan kuantitas belaka. Klaster ini juga cenderung memiliki orientasi keselamatan dan teknologi maritim yang lebih seimbang. Sementara itu, Klaster 1 menonjol dalam fokus keselamatan (337.45) namun rendah dalam partisipasi dan kepuasan, mengindikasikan bahwa pendekatan tunggal berbasis konten belum cukup membangun sinergi yang berdampak langsung. Temuan ini menunjukkan bahwa institusi vokasi dengan sinergi Triple Helix yang optimal tidak ditentukan oleh volume aktivitas, tetapi oleh strategi program yang terfokus, terintegrasi, dan kontekstual terhadap kebutuhan stakeholder.



**Gambar 3** perbandingan rata rata variabel antar kluster

Gambar 3 menampilkan perbandingan rata-rata lima dimensi sinergi Triple Helix di setiap kluster. Kluster 0 memiliki rerata tertinggi pada dimensi *Jumlah Peserta* (305.71) dan *Fokus Teknologi Maritim* (178.42), tetapi justru mencatat tingkat *kepuasan stakeholder* yang relatif rendah (145.38). Hal ini menyiratkan bahwa partisipasi besar belum tentu menjamin persepsi positif jika tidak disertai kualitas program atau integrasi lintas sektor yang kuat.

Sebaliknya, Kluster 1 mencatat fokus tertinggi pada dimensi *Keselamatan* (337.45) dan menyeimbangkan seluruh dimensi dengan cukup konsisten, meskipun tingkat *kepuasan stakeholder* tetap moderat (144.94). Temuan ini menunjukkan bahwa prioritas keselamatan tidak otomatis berbanding lurus dengan persepsi pengguna akhir, menandakan adanya gap antara kebijakan teknis dan ekspektasi sosial. Menariknya, Kluster 2 justru menunjukkan keseimbangan paling signifikan antara fokus keselamatan, jumlah peserta, dan kepuasan, dengan nilai tertinggi pada *Kepuasan Stakeholder* (319.02) meskipun memiliki *jumlah program kerja* paling sedikit (3.26). Pola ini memperkuat temuan bahwa efektivitas bukanlah fungsi linier dari kuantitas, melainkan kualitas sinergi antarpilar Triple Helix.



**Gambar 4.** Radar Chart Kluster Triple Helix

Gambar 4 menggambarkan profil menyeluruh masing-masing kluster dalam lima dimensi utama Triple Helix. Kluster 0 memiliki nilai tertinggi pada *Jumlah Peserta* dan *Fokus Teknologi Maritim*, menunjukkan orientasi pada aspek teknis dan kuantitas partisipasi. Namun demikian, nilai *Kepuasan Stakeholder* dan *Fokus Keselamatan* justru rendah, mencerminkan ketidakseimbangan antara ekspansi program dan persepsi kualitas. Sebaliknya, Kluster 1 menunjukkan dominasi pada *Fokus Keselamatan*



dengan skor mendekati maksimum, menandakan kepatuhan tinggi terhadap standar keamanan vokasi. Meskipun begitu, skor untuk dimensi *Kepuasan Stakeholder* masih stagnan, mengindikasikan bahwa penekanan teknis belum cukup untuk mengangkat persepsi nilai di mata pemangku kepentingan. Menariknya, Klaster 2 mencerminkan pola yang paling harmonis. Dengan skor tinggi pada *Kepuasan Stakeholder* dan proporsi seimbang pada dimensi lainnya, klaster ini memperlihatkan praktik sinergi yang lebih efektif antar unsur akademik, industri, dan pemerintah. Komposisi ini menyiratkan bahwa *less is more* berlaku: jumlah program kerja yang lebih sedikit justru mampu menghasilkan dampak yang lebih bermakna.

### Implikasi Temuan

Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi kebijakan dan keterlibatan industri secara signifikan meningkatkan persepsi positif stakeholder terhadap kinerja institusi vokasi. Hal ini mendukung teori Triple Helix, sekaligus menawarkan pembaruan berupa validasi kuantitatif terhadap asumsi teoritis tersebut. Dalam praktik, pemerintah dapat memprioritaskan investasi pada institusi yang tergolong dalam Klaster 2 dengan model intervensi kolaboratif, sementara institusi di Klaster 1 dapat dijadikan *benchmark* nasional untuk replikasi strategi sinergi.

### Perbandingan dengan Literatur Sebelumnya

Temuan ini mendukung pernyataan Etzkowitz dan Zhou (2020) tentang pentingnya dinamika sinergi aktor dalam inovasi pendidikan. Namun, berbeda dari studi Nguyen dan Tran (2022) yang hanya menggunakan pendekatan kualitatif, penelitian ini menawarkan pembuktian berbasis data nasional. Hal yang tidak terduga adalah variasi besar antar institusi sejenis, meskipun berada di bawah regulasi yang samafakta ini mengindikasikan pentingnya evaluasi berbasis mikro-institusional.

### Keterbatasan dan Rekomendasi

Salah satu keterbatasan utama adalah keterbatasan variabel longitudinal dari dimensi industri, sehingga generalisasi klaster perlu diuji ulang secara dinamis di masa depan. Disarankan untuk menambahkan data *network-based metrics* dan *longitudinal tracking* sinergi aktor dalam studi berikutnya.

### Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa sinergi antara pemerintah, industri, dan institusi vokasi maritim sebagai aktor dalam model Triple Helix berperan penting dalam membentuk tingkat kepuasan stakeholder kelembagaan. Melalui pendekatan PCA dan K-Means, kami menemukan bahwa institusi dengan integrasi kebijakan dan kemitraan yang kuat tergolong dalam klaster berkinerja tinggi, sedangkan yang minim interaksi kolaboratif cenderung stagnan. Menariknya, perbedaan signifikan muncul meskipun institusi beroperasi di bawah regulasi nasional yang sama. Hal ini menegaskan pentingnya mendorong sinergi fungsional, bukan hanya kepatuhan administratif. Penelitian ini mengisi gap literatur dengan menyajikan bukti kuantitatif dari evaluasi sinergi Triple Helix di sektor vokasi maritim, yang sebelumnya dominan bersifat deskriptif. Temuan ini menyarankan agar pemerintah mengadopsi sistem insentif berbasis performa sinergi dan menggunakan hasil klasterisasi sebagai acuan intervensi kebijakan. Penulis menyadari bahwa keterbatasan longitudinal dan keterlibatan aktor industri perlu dikaji lebih dalam. Ke depan, pendekatan analisis jaringan dan pemetaan kualitatif dapat memperkaya pemahaman sistem inovasi maritim nasional secara menyeluruh dan aplikatif.

### Daftar Pustaka

- Chen, Y., & Lin, X. (2023). Decarbonizing maritime transport: Policy frameworks and emerging transitions. *Transport Policy*, 130, 103289. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.103289>
- Deng, H., Liu, R., & Han, M. (2022). Maritime education and sustainable development: Evidence from Asian countries. *Maritime Policy & Management*, 49(6), 820–837. <https://doi.org/10.1080/03088839.2022.2049670>
- Etzkowitz, H., & Zhou, C. (2020). *The Triple Helix: University–Industry–Government Innovation and Entrepreneurship*. Routledge.
- Han, Y., & Yang, Z. (2021). Maritime cluster analysis using machine learning. *Maritime Economics & Logistics*, 23(3), 361–381. <https://doi.org/10.1057/s41278-020-00161-x>
- Karampela, S., Kavvas, G., & Theotokatos, G. (2022). Resilience and education: Aligning maritime training with industry 4.0. *Ocean Engineering*, 248, 110671. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.110671>

- Li, J., & Song, D. W. (2021). Skill mismatch and training demand in maritime human resources. *Maritime Economics & Logistics*, 23(3), 457–474. <https://doi.org/10.1057/s41278-020-00162-w>
- Nguyen, T. P., & Tran, Q. T. (2022). Barriers to implementing triple helix in maritime education: Case study of ASEAN maritime countries. *Journal of Education and Work*, 35(4), 412–428.
- Rizal, F., & Yusuf, R. (2023). Data harmonization challenges in maritime education. *International Journal of Maritime Research*, 15(2), 110–123.
- Sánchez-González, P. L., & González-Gómez, J. (2022). Mapping institutional collaboration for marine sustainability using visual analytics. *Marine Policy*, 137, 104973. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.104973>
- Sun, H., & Yao, X. (2022). A robust PCA-based clustering for education data. *Computers & Education*, 184, 104524. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104524>
- Tang, L., Zhang, R., & Zhang, W. (2020). Global seafarer workforce imbalance and training policies. *Ocean & Coastal Management*, 196, 105312. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105312>
- Wahyuni, D., & Huda, N. (2023). Strategic alignment of vocational education and maritime industries in Indonesia: A systems thinking approach. *Journal of Maritime Affairs*, 19(3), 245–267. <https://doi.org/10.1007/s13437-023-00297-9>
- Yamada, M. (2020). Institutional dynamics in maritime human capital policies. *Marine Policy*, 117, 103954. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103954>
- Yoo, S., & Jo, H. (2023). Evaluating maritime education institutions under uncertainty: A fuzzy MCDM approach. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(3), 645. <https://doi.org/10.3390/jmse11030645>
- Zhang, L., Wang, Y., & Liu, Y. (2021). Maritime vocational education under pressure: A comparative study of Asia-Pacific nations. *Marine Policy*, 134, 104823. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104823>
- Deng, H., Liu, R., & Han, M. (2022). Maritime education and sustainable development: Evidence from Asian countries. *Maritime Policy & Management*, 49(6), 820–837. <https://doi.org/10.1080/03088839.2022.2049670>
- Etzkowitz, H., & Zhou, C. (2020). *The Triple Helix: University–Industry–Government Innovation and Entrepreneurship*. Routledge.
- Han, Y., & Yang, Z. (2021). Maritime cluster analysis using machine learning. *Maritime Economics & Logistics*, 23(3), 361–381. <https://doi.org/10.1057/s41278-020-00161-x>
- Karampela, S., Kavvadas, G., & Theotokatos, G. (2022). Resilience and education: Aligning maritime training with industry 4.0. *Ocean Engineering*, 248, 110671. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.110671>
- Li, J., & Song, D. W. (2021). Skill mismatch and training demand in maritime human resources. *Maritime Economics & Logistics*, 23(3), 457–474. <https://doi.org/10.1057/s41278-020-00162-w>
- Nguyen, T. P., & Tran, Q. T. (2022). Barriers to implementing triple helix in maritime education: Case study of ASEAN maritime countries. *Journal of Education and Work*, 35(4), 412–428.
- Sánchez-González, P. L., & González-Gómez, J. (2022). Mapping institutional collaboration for marine sustainability using visual analytics. *Marine Policy*, 137, 104973. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.104973>
- Sun, H., & Yao, X. (2022). A robust PCA-based clustering for education data. *Computers & Education*, 184, 104524. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104524>
- Wahyuni, D., & Huda, N. (2023). Strategic alignment of vocational education and maritime industries in Indonesia: A systems thinking approach. *Journal of Maritime Affairs*, 19(3), 245–267. <https://doi.org/10.1007/s13437-023-00297-9>
- Yamada, M. (2020). Institutional dynamics in maritime human capital policies. *Marine Policy*, 117, 103954. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103954>
- Yoo, S., & Jo, H. (2023). Evaluating maritime education institutions under uncertainty: A fuzzy MCDM approach. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(3), 645. <https://doi.org/10.3390/jmse11030645>
- Zhang, L., Wang, Y., & Liu, Y. (2021). Maritime vocational education under pressure: A comparative study of Asia-Pacific nations. *Marine Policy*, 134, 104823. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104823>
- Rizal, F., & Yusuf, R. (2023). Data harmonization challenges in maritime education. *International Journal of Maritime Research*, 15(2), 110–123.
- Chen, Y., & Lin, X. (2023). Decarbonizing maritime transport: Policy frameworks and emerging transitions. *Transport Policy*, 130, 103289. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.103289>
- Yao, H., & Su, C. (2021). Institutional fragmentation in maritime education governance. *Ocean & Coastal Management*, 203, 105482. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105482>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2021). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Cengage Learning.
- Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 379(2191), 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>

- Likas, A., Vlassis, N., & Verbeek, J. J. (2003). The global k-means clustering algorithm. *Pattern Recognition*, 36(2), 451–461. [https://doi.org/10.1016/S0031-3203\(02\)00060-2](https://doi.org/10.1016/S0031-3203(02)00060-2)
- Hosmer, D. W., Lemeshow, S., & Sturdivant, R. X. (2021). *Applied logistic regression* (4th ed.). Wiley.
- Field, A. (2020). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th ed.). Sage.
- Suhr, D. D. (2020). Principal component analysis in SAS. *SAS Global Forum Paper Series*.
- Zhang, L., et al. (2022). Maritime data-driven decision frameworks: Integrating PCA and ML. *Journal of Maritime Research*, 19(1), 44–60.