



Integrasi Algoritma Clustering K-Means dan Simulasi Stokastik untuk Pemetaan dan Prediksi Peningkatan Kualitas Layanan Rehabilitasi

Aninda Evioni^{1*}, Khoiratul Azmi², Silfia Rahmadani Sitorus³, Salsabila Putri Hati Siregar⁴, Zahra Dwi Nuraini⁵

¹⁻⁴ Ilmu Komputer, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Indonesia

⁵ Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sunan Ampel, Indonesia

e-mail: anindaevioni1@gmail.com¹, miaazmiirpan@gmail.com², silfiarahmadanisitorus5@gmail.com³, salsabilaputrihatisiregar@gmail.com⁴, zzahradwinuraini@gmail.com⁵

*Penulis Korespondensi: anindaevioni1@gmail.com

Abstract. *The disparity in the quality of rehabilitation services across regional work units presents a significant challenge to effective public management. This study aims to bridge the gap between problem diagnosis and policy prediction by proposing a hybrid, data-driven approach. We integrate K-Means Clustering to map the current state of service quality and Stochastic Simulation to predict the impact of strategic interventions. Using the 2024 Public Satisfaction Index (IKM) dataset from the National Narcotics Agency (BNN), the K-Means algorithm initially identified 26 work units (15.7%) in the "Red Zone" (critical performance), highlighting urgent areas for improvement. Next, a stochastic simulation modeling a "Directed Priority Intervention" scenario was run. The results predicted a significant structural shift in the distribution of service quality, characterized by an 80.8% decrease in critical units (down to 5 units) and a 71.8% increase in excellent performing units (up to 67 units). These findings validate that the integration of clustering and simulation provides a comprehensive framework for evidence-based decision-making, enabling policymakers to optimize resource allocation and efficiently accelerate national service standardization.*

Keywords: *Decision Support System; K-Means Clustering; Public Policy; Service Quality; Stochastic Simulation.*

Abstrak. Ketimpangan kualitas layanan rehabilitasi antar satuan kerja daerah menghadirkan tantangan signifikan bagi efektivitas manajemen publik. Studi ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan antara diagnosis masalah dan prediksi kebijakan dengan mengusulkan pendekatan hibrida berbasis data. Kami mengintegrasikan Pengelompokan K-Means untuk memetakan kondisi kualitas layanan saat ini dan Simulasi Stokastik untuk memprediksi dampak intervensi strategis. Dengan menggunakan dataset Indeks Kepuasan Masyarakat (IKM) 2024 dari Badan Narkotika Nasional (BNN), algoritma K-Means awalnya mengidentifikasi 26 satuan kerja (15,7%) dalam "Zona Merah" (kinerja kritis), yang menyoroti area mendesak untuk perbaikan. Selanjutnya, simulasi stokastik yang memodelkan skenario "Intervensi Prioritas Terarah" dijalankan. Hasilnya memprediksi pergeseran struktural yang signifikan dalam distribusi kualitas layanan, yang ditandai dengan penurunan 80,8% pada unit kritis (menurun menjadi 5 unit) dan peningkatan 71,8% pada unit berkinerja sangat baik (meningkat menjadi 67 unit). Temuan ini memvalidasi bahwa integrasi pengelompokan dan simulasi menyediakan kerangka kerja yang komprehensif untuk pengambilan keputusan berbasis bukti, yang memungkinkan pembuat kebijakan untuk mengoptimalkan alokasi sumber daya dan mempercepat standarisasi layanan nasional secara efisien.

Kata kunci: Kebijakan Publik; K-Means Clustering; Kualitas Pelayanan; Simulasi Stokastik; Sistem Pendukung Keputusan.

1. LATAR BELAKANG

Kualitas layanan rehabilitasi memainkan peran penting dalam keberhasilan pemulihan pecandu narkoba. Sebagai sektor terdepan, Badan Narkotika Nasional (BNN) berkewajiban memastikan layanan yang terstandarisasi di seluruh Satuan Kerja (SKK) di Indonesia. Salah satu indikator utama dalam mengukur kinerja ini adalah Indeks Kepuasan Masyarakat (IKM). Namun, data lapangan tahun 2024 menunjukkan adanya disparitas kualitas layanan antar wilayah. Beberapa SKK telah mencapai status sangat baik dengan skor IKM di atas rata-rata nasional, sementara yang lainnya masih tertinggal dengan kinerja di bawah standar

(dikategorikan sebagai "zona merah"). Ketimpangan ini menciptakan akses yang tidak merata terhadap layanan dan berdampak pada inefisiensi alokasi sumber daya pelatihan, di mana kebijakan intervensi seringkali dilaksanakan secara umum tanpa memprioritaskan unit yang memerlukan perhatian kritis.

Untuk mengatasi masalah pengevaluasi kinerja dan pengambilan keputusan, pendekatan base data telah diaplikasi secara luas dalam literatur terkini, Kelompok penelitian pertama fokus pada penggunaan teknik Data Mining untuk pemetaan kondisi. Yolanda & Suhardi (2023) berhasil menerapkan algoritma K-Means Clustering untuk mengelompokkan data pasien rehabilitasi di BNNP Sumatera Utara, yang memungkinkan identifikasi karakteristik pasien secara presisi (Yolanda, 2023). Menggunakan algoritma serupa untuk mengelompokkan pasien berdasarkan persepsi layanan layanan di rumah sakit, dan Wisanta menggunakannya untuk mengelompokkan tingkat kepuasan di Mal Pelayanan Publik (Atalan et al., 2022). Studi-studi ini menunjukkan kejelasan K-Means sebagai alat diagnostik untuk memetakan kondisi yang ada (deskriptif analitis). Namun, pendekatan ini memiliki batasan karena bersifat statistik; hasil pengelompokan hanya menggambarkan keadaan saat ini tanpa memberikan gambaran umum dampak di masa mendatang jika suatu kebijakan diterapkan.

Di sisi lain, kelompok penelitian kedua fokus pada metode simulasi untuk tujuan prediksi dan optimasi. Desi dkk. (2025) menggunakan metode Monte Carlo untuk memprediksi tingkat penjualan, membuktikan efektivitas simulasi dalam memprediksi tren stokastik. Dalam konteks layanan kesehatan, pengamatan sistematis oleh Nahsyawan (2025) dan Andryanto (2025) menunjukkan bahwa pendekatan simulasi, seperti simulasi kejadian diskrit, dominan digunakan untuk mengoptimalkan sistem antrean dan alokasi sumber daya operasional. Meskipun metode simulasi unggul dalam kemampuan prediktif (analisis prediktif), sebagian besar penelitian ini seringkali berdiri sendiri dan fokus pada efisiensi operasional mikro (seperti waktu tunggu), alih - alih strategi perencanaan untuk meningkatkan kualitas tingkat layanan makro. (Desi dkk., 2025, Nahsyawan, 2025, Andryanto, 2025)

Berdasarkan pengamatan perpustakaan ini, terdapat ruang penelitian yang signifikan. Hanya sedikit penelitian yang menggabungkan kemampuan diagnostik Data Mining dengan kemampuan prediktif Simulasi dalam satu kerangka kerja terpadu untuk manajemen kualitas layanan rehabilitasi (Timothy Napitupulu & Aldi Jous Nainggolan, nd). Sebuah penelitian hibrida yang relevan ditemukan dalam Hadid dkk. (2022), yang menggabungkan Clustering dan Simulasi Stokastik untuk penjadwalan kimia klinis (Hadid dkk., 2022). Namun pendekatan serupa belum diterapkan untuk mengatasi masalah disparitas Indeks Kepuasan Masyarakat (IKM) pada skala kebijakan publik.

Penelitian ini bertujuan mengatasi cerminan dengan menghadirkan inovasi berupa model integrasi hibrida: (1) K -Means clustering digunakan sebagai alat diagnostik untuk mengelompokkan unit kerja secara otomatis ke dalam zona prioritas (Merah, Kuning, Hijau), dan (2) Simulasi Stokastik digunakan sebagai alat prognostik untuk memodelkan inspeksi intervensi pada unit prioritas dan memprediksi peningkatan kualitas layanan nasional. Tujuan utama penelitian ini adalah menghasilkan keputusan sistem pendukung yang mampu memberikan rekomendasi alokasi sumber daya yang tepat sasaran, sehingga memastikan upaya peningkatan kualitas layanan rehabilitasi dilakukan secara efektif, terukur, dan efisien.

2. KAJIAN TEORITIS

Paradigma Pengukuran Kualitas dan Kepuasan Pelayanan Publik

Dalam era reformasi birokrasi modern, paradigma penyelenggaraan pelayanan publik telah bergeser secara mendasar dari Manajemen Publik Baru (PMB), yang fokus utama pada efisiensi teknis dan keluaran, menuju Pelayanan Publik Baru (PMB), yang menekankan nilai – nilai demokrasi, pemerataan, dan kepuasan warga negara. Kualitas layanan rehabilitasi bagi pecandu narkoba, sebagai bagian integral dari layanan kesehatan dan pemulihan sosial, memiliki kompleksitas yang unik karena mengintegrasikan dimensi medis, psikologis, dan reintegrasi sosial. Badan Narkotika Nasional (BNN) mengoperasionalkan konsep kualitas ini melalui instrumen Indeks Kepuasan Masyarakat (IKM), sebagaimana diamanatkan oleh peraturan-undangan terkait standar pelayanan publik (Oktaviani, 2023).

Pengukuran IKM bukan sekedar formalitas administratif tahunan, tetapi merupakan instrumen strategi untuk menangkap penerima layanan berdasarkan lima dimensi kualitas utama (SERVQUAL): transmisi, daya tanggap, jaminan, empati, dan bukti nyata. Namun, tantangan utama dalam mengelola kualitas layanan di negara kepulauan seperti Indonesia adalah tingginya disparitas kinerja antar unit kerja daerah. Variabilitas kapasitas sumber daya manusia, infrastruktur, serta alokasi anggaran menciptakan perpaduan kualitas nyata antara unit pusat dan daerah. Variabilitas ini memerlukan instrumen evaluasi yang mampu menggambarkan kinerja secara granular dan presisi tinggi, bukan hanya mengandalkan rata - rata nasional yang seringkali bias (agregat) dan cenderung menutup kondisi riil unit dengan kinerja terendah (outlier). Tanpa pemetaan yang akurat, intervensi kebijakan berisiko tidak efektif karena gagal mengatasi akar permasalahan pada unit yang paling rentan.

Implementasi Data Mining untuk Segmentasi dan Pemetaan Masalah

Pendekatan penambangan data telah menjadi solusi utama dalam literatur terbaru

untuk menghadapi volume dan kompleksitas kinerja data yang besar (Khaerullah dkk., 2023). Algoritma K-Means Clustering secara konsisten dipilih oleh para peneliti karena efisiensinya dalam mengelompokkan data yang tidak berlabel (unsupervised learning) serta kemampuannya dalam menghasilkan kluster yang berbeda (Zuhendra dkk., 2024). Relevansi algoritma ini dalam konteks rehabilitasi telah dibuktikan secara empiris (Yolanda, 2023). Dalam penelitiannya di BNN Provinsi Sumatera Utara (BNNP Sumut), K-Means digunakan untuk mempartisi data pasien rehabilitasi berdasarkan atribut demografi dan riwayat penggunaan zat. Temuan menunjukkan bahwa clustering mampu mengungkap pola tersembunyi yang penting untuk menentukan jenis terapi yang dipersonalisasi, yang sebelumnya tidak dapat terdeteksi melalui analisis statistik deskriptif (Faqih dkk., 2024). Hal ini memberikan landasan metodologi yang kuat bahwa K-Means merupakan metode yang valid dan kuat untuk diterapkan dalam ekosistem data BNN.

Validitas K-Means dalam konteks evaluasi kepuasan semakin diperkuat oleh penelitian Sinaga & Raihansyah (2025). Mereka menerapkan algoritma ini untuk mengelompokkan pasien rumah sakit berdasarkan persepsi terhadap kualitas layanan, Hasil penelitian memperkuat bahwa segmentasi berbasis algoritma menghasilkan pengelompokan yang lebih objektif dan konsisten dibandingkan metode penilaian manual, yang rentan terhadap subjektivitas evaluator dan kelelahan kognitif. Selain itu, Wisanta dan Marlim (2021) mengeksplorasi penerapan ini pada ranah pelayanan administrasi publik di Mal Pelayanan Publik Pekanbaru. Studi tersebut berhasil memetakan unit layanan ke dalam tiga kluster kinerja yaitu "Baik", "Cukup Baik", dan "Buruk", yang kemudian digunakan sebagai dasar mekanisme yang diakui dan hukuman. Fitriani, Padilah, dan Sari (2021) juga menerapkan pendekatan serupa untuk mengelompokkan wilayah berdasarkan indikator kesejahteraan masyarakat, membuktikan kebenaran dan skalabilitas K-Means dalam menangani data geospasial serta indikator sosial multidimensi.

Pendekatan Simulasi untuk Prediksi Kebijakan

Penambahan data fokus pada analisis data historis untuk mendiagnosis masalah yang terjadi saat ini (analisis diagnostik), serta strategi manajemen yang menuntut kemampuan untuk memprediksi dampak kebijakan di masa mendatang (analitis preskriptif) sebelum kebijakan tersebut dieksekusi (Pratama & Zufria, 2022). Mengembangkan peran metode simulasi menjadi krusial sebagai alat uji virtual. Simulasi Stokastik, khususnya metode Monte Carlo, memungkinkan pemodelan sistem yang memiliki elemen izin dan variabilitas. Desi dkk. (2025) berhasil menunjukkan penerapan Monte Carlo untuk memprediksi tingkat penjualan produk dengan akurasi tinggi. Studi ini menyoroti kemampuan Monte Carlo untuk

menghasilkan ribuan skenario acak (pengambilan sampel acak) guna mencerminkan distribusi probabilitas hasil akhir, suatu fitur yang sangat relevan untuk pemodelan kinerja unit kerja yang dinamis dan tidak pasti (Murdianto dkk., 2025).

Dalam tinjauan pustaka sistematis yang komprehensif, Nahsyawan (2025) dan Andryanto (2025) mengidentifikasi tren penggunaan simulasi di sektor kesehatan global. Mereka menemukan bahwa Simulasi Kejadian Diskrit (Discrete Event Simulasi/DES) merupakan metode yang paling dominan digunakan, terutama untuk mengoptimalkan arus pasien, sistem antrean, dan alokasi tempat tidur di rumah sakit. Namun, kedua peneliti tersebut mengidentifikasi gangguan penelitian yang signifikan: sebagian besar studi simulasi saat ini masih fokus pada efisiensi operasional tingkat mikro (seperti mengurangi waktu tunggu dalam hitungan menit). Sangat sedikit penelitian yang memanfaatkan simulasi untuk perencanaan strategi tingkat makro, seperti memprediksi peningkatan indeks kualitas layanan nasional atau dampak jangka panjang intervensi kebijakan publik.

Selain itu, Andhika (2019) memperkenalkan penggunaan Dinamika Sistem sebagai alat simulasi untuk merumuskan kebijakan publik yang kompleks. Meskipun metode ini unggul dalam memvisualisasikan siklus kausal dan umpan balik sistem, implementasinya memerlukan data deret waktu yang panjang serta pemetaan variabel yang sangat kompleks. Kebutuhan data yang ekstensif ini sering kali menjadi hambatan bagi instansi pemerintah yang belum memiliki dasar data historis yang akurat. Oleh karena itu, pendekatan simulasi stokastik berdasarkan skenario intervensi yang diusulkan dalam studi ini menawarkan jalan tengah yang lebih pragmatis dan layak: pendekatan ini mampu memprediksi dampak kebijakan dengan akurasi yang mampu tanpa memerlukan kerumitan yang berlebihan dalam pemodelan sistem dinamis.

Integrasi Hibrida: Menjembatani Diagnosis dan Prognosis

Peninjauan mendalam terhadap literatur di atas menyimpulkan kesimpulan penting: penggunaan satu metode tunggal memiliki keterbatasan mendasar dalam mengatasi tantangan manajerial yang kompleks. Metode pengelompokan hanya mampu menjawab pertanyaan "siapa yang berkinerja buruk" dan "di mana lokasi mereka", tetapi tidak mampu menjawab pertanyaan "bagaimana jika mereka diberikan intervensi spesifik". Sebaliknya, metode simulasi tanpa pemetaan prioritas sebelumnya cenderung menggunakan asumsi umum ("satu kebijakan untuk semua"), yang mengakibatkan alokasi sumber daya yang tidak efisien (Herawati dkk., 2022). Oleh karena itu, tren penelitian terkini di bidang teknik industri dan operasi manajemen bergeser ke arah integrasi pendekatan hibrida.

Penelitian Hadid dkk. (2022) menjadi acuan utama (state of the art) dalam studi ini. Mereka mengembangkan model terintegrasi berbasis Clustering dan Stochastic Simulasi

Optimization untuk penjadwalan kemoterapi kanker rawat jalan. Dalam model tersebut, pasien diperiksa berdasarkan karakteristik klinis dan durasi perawatan menggunakan teknik clustering, kemudian simulasi dijalankan secara spesifik untuk setiap cluster untuk menentukan optimasi jadwal. Hasil eksperimen membuktikan bahwa pendekatan hybrid mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya medis secara signifikan dan mengurangi waktu tunggu pasien dibandingkan dengan pendekatan konvensional atau acak. Konsep integrasi serupa diadopsi oleh Zhang dan Li (2023) dalam alokasi staf medis darurat, di mana integrasi data mining dan simulasi menghasilkan keputusan operasional yang lebih presisi dan responsif,

Berdasarkan sintesis literatur ini, penelitian ini bertujuan untuk memenuhi kekurangan akademi dalam manajemen layanan rehabilitasi di Indonesia. Tidak ada penelitian sebelumnya yang secara khusus menggabungkan algoritma K-Means (sebagai alat diagnostik zonasi kinerja) dengan Simulasi Stokastik (sebagai alat uji validitas kebijakan) dalam satu kerangka kerja terpadu untuk kasus Indeks Kepuasan Masyarakat (IKM). Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan Sistem Pendukung Keputusan (SPK) yang komprehensif: mulai dari pemetaan masalah yang objektif dan otomatis hingga prediksi dampak solusi yang terukur secara kuantitatif, sehingga memberikan landasan ilmiah yang kokoh bagi para pemangku kepentingan dalam merumuskan strategi peningkatan kualitas layanan nasional yang efektif dan efisien.

3. METODE PENELITIAN

Kerangka Penelitian

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif hibrida yang menggabungkan metode deskriptif dan prediktif. Proses penelitian ini terdiri dari empat tahap utama : (1) Pengumpulan dan pra-pemrosesan data, (2) Pemetaan kondisi awal dengan menggunakan teknik K-Means Clustering, (3) Pemodelan skenario melalui simulasi stokastik, dan (4) Analisis hasil serta evaluasi kebijakan.

Pengumpulan dan Praproses Data

Studi ini memanfaatkan data sekunder yang diperoleh dari Laporan Kinerja Layanan Rehabilitasi tahun 2024.

- a. Sumber Data: Dataset Indeks Kepuasan Masyarakat (*IKM*) dari Satuan Kerja Badan Narkotika Nasional (BNN) seluruh Indonesia.
- b. Atribut Data: Dataset ini terdiri dari dua atribut utama: (1) Nama Unit Kerja, dan (2) Skor IKM (dalam skala 0,00 hingga 4,00).

- c. Prapemrosesan: Data mentah menjalani proses pembersihan untuk memastikan kesesuaian untuk pemrosesan algoritmik. Langkah-langkahnya meliputi:

Standarisasi Format: Mengubah tanda pemisah desimal dari koma (,) menjadi titik (.) agar kompatibel dengan tipe data numerik (float).

Penyaringan : Mengidentifikasi dan memisahkan unit kerja operasional (BNNK/BNNP) dengan menghilangkan baris agregat atau bagian provinsi.

Penanganan Nilai Tidak Terdefinisi: Menghapus unit kerja yang memiliki skor IKM nol atau tidak terdefinisi untuk menghindari kesalahan dalam perhitungan.

Pemetaan Kualitas menggunakan K-Means Clustering

Tahap ini bertujuan melakukan analisis diagnostik terhadap kualitas layanan yang ada. Algoritma K-Means Clustering digunakan untuk membagi unit kerja ke dalam kluster berdasarkan kesamaan skor.

- a. Penentuan Kluster (k): Penelitian ini menetapkan jumlah kluster pada $k = 3$, yang mewakili tingkat penanganan prioritas:

Kluster 0 (Zona Merah): Kualitas Layanan Rendah (Prioritas Utama untuk Peningkatan).

Kluster 1 (Zona Kuning): Kualitas Layanan Sedang (Memerlukan Pemantauan/Pembinaan).

Kluster 2 (Zona Hijau): Kualitas Layanan Unggul (Panutan).

- b. Proses Algoritma: Algoritma mengelompokkan data dengan meminimalkan varians dalam kluster, dihitung menggunakan rumus Jarak Euclidean antara titik data (x) dan pusat kluster (c):

$$d(x, c) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - c_i)^2}$$

Prediksi Dampak menggunakan Simulasi Stokastik

Setelah proses pemetaan, penelitian dilanjutkan ke analisis prediktif untuk memperkirakan efektivitas kebijakan masa depan menggunakan simulasi berbasis probabilitas (*stokastik*).

- a. Skenario Simulasi:

Skenario yang dikembangkan adalah "Intervensi Prioritas Berbasis Kluster". Dalam model ini, sumber daya organisasi difokuskan secara strategis untuk meningkatkan unit – unit yang telah diidentifikasi di Zona Merah (yang berasal dari tahap K-Means).

b. Logika Model Stokastik:

Perubahan skor IKM di masa mendatang (S_{t+1}) dimodelkan sebagai probabilitas, bukan kepastian. Aturan simulasi didefinisikan sebagai berikut:

Untuk Unit Zona Merah: Diperlukan intervensi yang intensif, Unit – unit ini memiliki probabilitas 80% (P) untuk mencapai peningkatan skor yang signifikan (+0,30 poin). Untuk Unit Zona Kuning: Membutuhkan pelatihan secara rutin, Unit - unit ini memiliki probabilitas pertumbuhan organik" sebesar 40% dengan peningkatan yang moderat (+0,15 poin). Untuk Unit Zona Hijau: Tidak diperlukan intervensi khusus. Skor indikator tetap stabil dengan fluktuasi acak alami (gangguan acak) $\pm 0,02$. Model matematika untuk simulasi ini dinyatakan sebagai:

$$S_{t+1} = S_t + \Delta(Cluster, Random)$$

Evaluasi dan Analisis

Hasil akhir metode hibrida ini dievaluasi dengan membandingkan peta distribusi kualitas layanan sebelum dan sesudah simulasi. Indikator keberhasilan diukur dengan:

- a. Pengurangan Zona Merah: Penurunan jumlah unit kerja yang dikategorikan dalam klaster kinerja rendah.
- b. Migrasi Klaster: Jumlah unit kerja yang berhasil bermigrasi dari klaster yang lebih rendah ke tingkatan yang lebih tinggi (Zona Kuning atau Hijau).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Prapemrosesan Data

Studi ini menggunakan data sekunder yang berasal dari laporan kinerja Indeks Kepuasan Masyarakat (IKM) 2024 yang mencakup seluruh Satuan Kerja (SK) Badan Narkotika Nasional (BNN) di tingkat Kabupaten/Kota dan Provinsi. Tahap awal meliputi pembersihan data untuk memastikan integritas analisis.

Proses pembersihan meliputi:

- a. Pemisahan Entitas: Mengisolasi baris data operasional (BNNK/BNNP) dari baris atau tajuk agregat provinsi.
- b. Konversi Tipe Data: Mengonversi skor IKM dari format teks (menggunakan koma) ke format numerik (float) untuk memudahkan perhitungan.
- c. Menangani Nilai yang Hilang: Menghapus entitas unit kerja dengan skor IKM yang hilang atau nol untuk mencegah bias komputasi.

Setelah proses penyaringan, diperoleh 165 Unit Kerja yang valid untuk

dianalisis, Analisis deskriptif awal menunjukkan variasi kinerja yang signifikan, dengan skor terendah 3,00 dan tertinggi mendekati 4,00 (Sangat Baik). Perbedaan ini menunjukkan bahwa standar layanan belum merata di seluruh wilayah, Pemetaan Kualitas Layanan Menggunakan K-Means Clustering

Tahap diagnostik dilakukan dengan menerapkan algoritma *K-Means Clustering* untuk mengelompokkan unit kerja ke dalam zona prioritas berdasarkan kesamaan skor. Jumlah kluster optimal ditentukan sebanyak tiga ($k = 3$), yang mewakili tingkat urgensi penanganan. Hasil pengelompokan awal disajikan pada Tabel 1

Tabel 1 Distribusi Kluster Kualitas Layanan.

ID Kluster	Kategori Zonasi	Jumlah Unit	Skor Rata-Rata
0	Zona Merah (Perlu Perbaikan)	26	3.354
1	Zona Kuning (Monitor)	100	3.547
2	Zona Hijau (Sangat Baik)	39	3.714

Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, algoritma berhasil mengidentifikasi 26 Unit Kerja yang termasuk dalam kategori kritis (Zona Merah) dengan skor rata-rata terendah (3,354). Angka ini mewakili sekitar 15,7% dari total populasi unit kerja, yang menjadi fokus utama dalam skenario simulasi selanjutnya. Visualisasi distribusi kluster awal ini dapat dilihat pada Gambar 1 (Grafik Kiri).

Prediksi Dampak Intervensi Menggunakan Simulasi Stokastik

Setelah target prioritas diidentifikasi, penelitian dilanjutkan ke tahap prognostik menggunakan Simulasi Stokastik. Skenario simulasi yang dijalankan adalah "Intervensi Prioritas Terarah".

Dalam skenario ini, diasumsikan bahwa manajemen memfokuskan sumber daya pembinaan (pelatihan SDM, peningkatan fasilitas, atau supervisi intensif) secara khusus pada 26 unit di Zona Merah. Unit-unit ini memiliki probabilitas keberhasilan peningkatan skor sebesar 80% dengan lonjakan skor yang signifikan (+0,30 poin). Sementara itu, unit di Zona Kuning dan Hijau diasumsikan tumbuh secara organik atau mengalami fluktuasi alami.

Hasil simulasi memperkirakan perubahan signifikan dalam peta kualitas layanan, seperti yang dirangkum dalam Tabel 2.

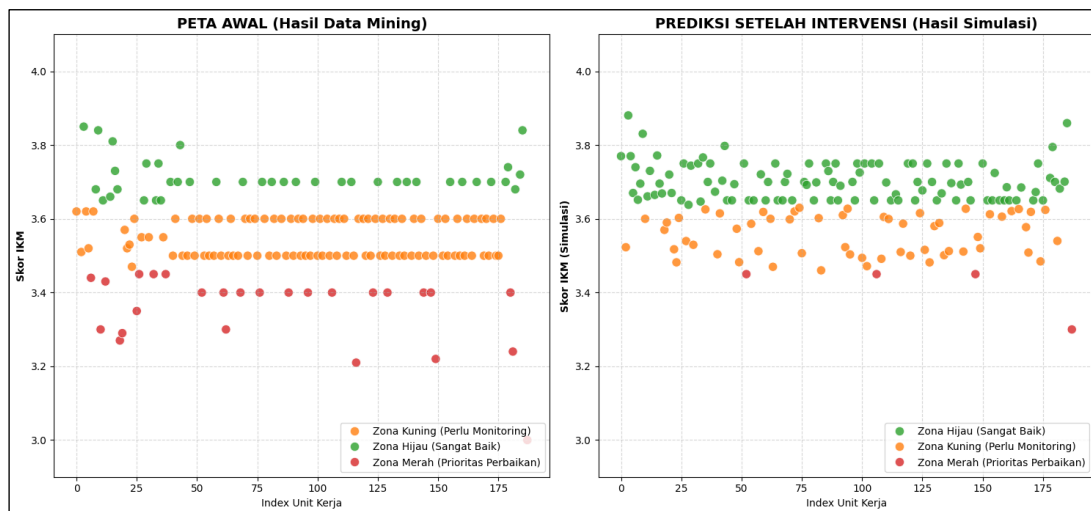
Tabel 2 Perbandingan Peta Kualitas Sebelum dan Sesudah Simulasi.

Zona Kualitas	Jumlah Awal (Diagnosa)	Jumlah Akhir (Prediksi)	Perubahan Delta	Persentase Perubahan
---------------	------------------------	-------------------------	-----------------	----------------------

				(%)
Zona Merah (Perlu Perbaikan)	26	5	-21	-80,8%
Zona Kuning (Monitor)	100	93	-7	-7,0%
Zona Hijau (Sangat Baik)	39	67	+28	+71,8%

Data prediksi menunjukkan bahwa strategi intervensi prioritas mampu mengurangi jumlah unit kritis secara drastis dari 26 menjadi hanya 5 unit (penurunan sebesar 80,8%). Sebaliknya, terdapat lonjakan jumlah unit berkinerja sangat baik (Zona Hijau) dari 39 menjadi 67 unit (peningkatan sebesar 71,8%).

Penjelasan Grafis Perubahan Peta Kualitas Layanan



Gambar 1 Penjelasan Grafis Perubahan Peta Kualitas Layanan.

- (Grafik, kiri) peta awal: titik-titik merah (Zona Merah) terkonsentrasi di bagian Bawah grafik, menunjukkan sekelompok unit kerja yang tertinggi jauh di belakang standar rata-rata. Area hijau prediksi dibagian atas atas masih relatif jarang.
- (Grafik kanan) peta prediksi: Setelah simulasi intervensi dijalankan, terlihat jelas bahwa sebagian besar titik merah telah “bermigrasi” ke atas, berubah menjadi titik kuning atau hijau. Hal ini memvisualisasikan keberhasilan intervensi dalam meningkatkan unit-unit ditingkat terbawah sekaligus meningkatkan kepadatan di area hijau (kinerja tinggi).

Efektivitas Model Hibrida dalam pengambilan keputusan ini menunjukkan bahwa integrasi K-Means dan Simulasi Stokastik memberikan nilai tambah strategis dibandingkan dengan penggunaan metode tunggal. Metode K-Means berfungsi efektif sebagai alat diagnostik

untuk “ Memberi label” unit bermasalah secara objektif, sehingga menghindari bias subjektif. Sementara itu, simulasi stokastik berfungsi sebagai suatu strategi sebelum dieksekusi dilapangan.

Analisis Fenomena Migrasi Klaster Temuan pada Tabel 4.2 menunjukkan penurunan uni Zona kuning (-7 unit) dan lonjakan unis Zona Hijau (+28 unit). Hal ini membuktikan terjadinya Migrasi Vertikal Positif. Unit yang awalnya “rata-rata” (kuning) mendapatkan manfaat dari perbaikan sistemik atau pertumbuhan organik, berhasil melewati ambang batas menuju Zona Hijau. Sebaliknya, 5 unit tersisa yang terjebak di Zona Merah pasca-simulasi menunjukkan adanya outlier yang resisten. Temuan ini memberi sinyal kepada (kasuistik) di luar skenario pembinaan standar.

Implikasi Manajerial: Efisiensi Anggaran Hasil simulasi memberikan implikasi nyata terhadap efisiensi anggaran. Dengan mengidentifikasi bahwa hanya 26 unit yang menjadi penghambat utama pada rata-rata nasional, organisasi tidak perlu mendistribusikan anggaran secara merata ke seluruh 165 unit. Dengan mengalokasikan sumber daya intensif hanya kepada 26 unit Zona Merah, dampak sistemik—peningkatan signifikan pada unit berkinerja unggul—dapat dicapai. Hal ini menegaskan bahwa strategi intervensi yang terarah jauh lebih hemat biaya daripada strategi intervensi yang digeneralisasi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pemetaan dengan menggunakan algoritma K-Means Clustering, studi ini menyimpulkan bahwa disparitas kualitas layanan rehabilitasi di 165 Satuan Kerja (SKK) BNN merupakan fenomena yang nyata dan dapat diukur. Diagnosis secara tujuan awal mengidentifikasi 26 SKK (15,7%) yang termasuk dalam kategori kritis atau "Zona Merah", dengan skor Indeks Kepuasan Masyarakat (IKM) di bawah standar rata - rata, Temuan ini menegaskan bahwa evaluasi kinerja umum tidak lagi relevan, sehingga diperlukan segmentasi berbasis data yang tepat untuk mengisolasi unit – unit yang membutuhkan penanganan prioritas.

Dari sudut pandang kebijakan perencanaan, model penerapan Simulasi Stokastik menunjukkan bahwa strategi intervensi yang terarah memiliki efektivitas yang berpengaruh. Hasil simulasi menyimpulkan bahwa dengan mengalokasikan sumber daya pelatihan hanya pada zona merah, organisasi dapat secara signifikan mengurangi jumlah unit kritis, yaitu dari 26 unit menjadi 5 unit dalam satu periode anggaran. Selain itu, strategi ini diprediksi akan menimbulkan peningkatan sebesar 71,8% dalam jumlah unit kinerja sangat baik (zona hijau), yang menunjukkan peningkatan kualitas layanan secara sistemik.

Secara metodologis, integrasi hybrid antara Data Mining dan Simulasi dalam studi ini menghadirkan inovasi baru berupa sistem pendukung keputusan yang komprehensif (end -to-end). Pengelompokan terbukti efektif sebagai alat diagnostik untuk menghilangkan bias subjektif dalam penilaian kinerja, sedangkan simulasi berfungsi penting sebagai alat validasi kebijakan untuk menguji potensi keberhasilan skenario sebelum pelaksanaan lapangan. Sinergi kedua metode ini berhasil menjembatani kesenjangan antara analisis data historis dan perencanaan strategi masa depan, yang seringkali beroperasi secara terpisah.

Sebagai implikasi manajerial, penelitian ini merekomendasikan perubahan paradigma dalam pengelolaan layanan rehabilitasi menuju pendekatan kebijakan berbasis bukti. Dengan penerapan model ini, pemangku kepentingan dapat meningkatkan efisiensi anggaran negara dengan memberikan intervensi hanya kepada unit – unit yang memiliki dampak terbesar. Hal ini memastikan percepatan standardisasi kualitas layanan rehabilitasi nasional dapat tercapai secara lebih terukur, hemat biaya, serta tepat sasaran.

DAFTAR REFERENSI

- Andryanto, LN (2025). Tinjauan Literatur Sistematis tentang Simulasi Sistem Antrean di Rumah Sakit : Model, Aplikasi, dan Evaluasi Kinerja, 3,
- Atalan, A., Sahin, H., & Atalan, YA (2022). Integrasi Algoritma Pembelajaran Mesin dan Simulasi Kejadian Diskrit untuk Biaya Sumber Daya Kesehatan, <https://doi.org/10.3390/healthcare10101920>
- Desi, E., Aliyah, S., Dari, W., Nasution, FP, Maisaroh, E., Informasi, SS, Teknik, F., Utama, UP, & Utara, PS (2025). Penerapan Metode Monte Carlo untuk Simulasi Prediksi Tingkat Penjualan Coklat Khas Dubai Abstrak, 6 (2), 1212–1221.
- Faqih, LR, Riska, SY, Studi, P., Informatika, T., Teknologi, I., & Malang, A. (2024). Analisis Klasterisasi Penyakit Malaria Menggunakan Metode K-Means di Indonesia, 18 (1), 60–70.
- Hadid, M., Elomri, A., Padmanabhan, R., Kerbache, L., Jouini, O., Omri, A. El, Nounou, A., & Hamad, A. (2022). Optimasi Klaster dan Simulasi Stokastik untuk Perencanaan dan Penjadwalan Janji Kemoterapi Rawat Jalan, <https://doi.org/doi.org/10.3390/ijerph192315539>
- Herawati, N., Nisa, K., & Saidi, S. (2022). Implementasi Metode Klaster Trimmed k-means dalam Pemetaan Sebaran Covid-19 di Indonesia. Implementasi Metode Klaster Trimmed k-means dalam Pemetaan Sebaran Covid-19 di Indonesia, 050012 (Oktober).
- Khaerullah, RR, Suarna, N., & Nurdiawan, O. (2023). Analisa Pengelompokan Dataset Komputer Menggunakan Algoritma X-Means. Jurnal Informatika Dan Teknologi Informasi, 1 (2). <https://doi.org/10.56854/jt.v1i2.135>
- Murdianto, G.thoriq, Fadillah, FK, Arofik, J., & Purnamasari, P. (2025). Strategi Dan Analisis Risiko Dalam Manajemen Investasi Modern. Jurnal Ilmiah Ekonomi Dan Manajemen, 3 (7), 313–317. <https://doi.org/10.61722/jiem.v3i7.5990>

- Nahsyawan, DN (2025). Pendekatan Simulasi dalam Optimalisasi Sistem Antrian Pelayanan Kesehatan : Tinjauan Sistematis Literatur,
- Oktaviani. (2023). 1, 2, 3 3, 1, 24–35. <https://doi.org/10.70377/jbn.v1i1.5210>
- Pratama, FD, & Zufria, I. (2022). Implementasi data mining menggunakan algoritma naïve bayes untuk klasifikasi program penerima indonesia pintar 1) 1,2,3), 7 (1), 77–84. <https://doi.org/https://doi.org/10.36341/rabit.v7i1.2217>
- Sinaga, R., & Raihansyah, M. (2025). Analisis Segmentasi Pasien Berdasarkan Persepsi Kualitas Pelayanan dengan Algoritma Clustering, 5 (1), 52–58.
- Timothy Napitupulu, E., & Aldi Jous Nainggolan, F. (nd). PERBANDINGAN ALGORITMA K-MEANS DAN X-MEANS UNTUK MENGELOMPOKKAN MINAT KEJURUAN SISWA BARU PADA SMK MULTIKARYA MEDAN MENGGUNAKAN METODE CLUSTERING. Jurnal TEKINKOM, 6 (2), 2023. <https://doi.org/10.37600/tekinkom.v6i2.933>
- Yolanda, E. (2023). Penerapan Algoritma K-Means Clustering Untuk Pengelompokan Data Pasien Rehabilitasi Narkoba, 4 (1), 182–191. <https://doi.org/10.30865/klik.v4i1.1107>
- Zuhendra, MI, Hidayat, R., & Hendrawaty, H. (2024). Penerapan Data Mining Untuk Klasterisasi Tingkat Kemiskinan Berdasarkan Data Terpadu Kesejahteraan Sosial (Dtk). SKANIKA: Sistem Komputer Dan Teknik Informatika, 7 (1), 32–41. <https://doi.org/10.36080/skanika.v7i1.3149>