

Prediksi Permintaan Tubing di PT Pertamina Hulu Rokan Zona 1 Field Jambi Menggunakan Metode Rantai Markov

Candra Rijaya¹ and Gusmi Kholijah¹

¹ Universitas Jambi, Indonesia

Article History

Received 06 Januari 2026

Revised 15 Januari 2026

Accepted 09 Februari 2026

Published 28 Februari 2026



Copyright © 2026 by Authors, Published by JRMM Group. This is an open access article under the CC BY-SA License.



Abstract. Material inventory management is a crucial aspect of operations in the oil and gas industry. A major issue faced by PT Pertamina Hulu Rokan Zone 1 Field Jambi is the frequent mismatch between the amount of tubing stock stored in the warehouse and the actual demand in the field. Excess inventory leads to high storage costs and an increased risk of material deterioration, while stock shortages (out-of-stock conditions) directly hinder drilling activities, resulting in reduced operational efficiency and financial losses. To address this uncertainty, this study proposes a stochastic modeling approach using the Markov Chain method to predict demand patterns for 2.7/8 IN, J-55, EU, R2, 6.50 PPF tubing materials. The study utilizes secondary data from January 2021 to September 2025, analyzed on a quarterly basis. The predicted demand distribution for the next quarter is obtained from the one-step transition probability matrix, where the highest probability is observed in *State 4* with a value of 39.29%, followed by *State 3* at 20.64%, *State 2* at 17.46%, *State 0* at 16.07%, and *State 1* at 6.55%. Furthermore, the *steady-state* analysis indicates that, in the long run, tubing demand tends to remain in the high-demand category. These results provide quantitative insights into the probabilistic demand pattern and may serve as a reference for inventory planning decisions.

Keywords: Inventory; Markov Chain; State; Tubing.

Abstrak. Pengelolaan persediaan material merupakan aspek krusial dalam operasional industri minyak dan gas bumi. Masalah utama yang dihadapi oleh PT Pertamina Hulu Rokan Zona 1 Field Jambi adalah seringnya terjadi ketidaksesuaian antara jumlah stok tubing di gudang dengan kebutuhan aktual di lapangan. Kelebihan stok mengakibatkan tingginya biaya penyimpanan dan risiko kerusakan material, sementara kekurangan stok secara langsung menghambat proses pengeboran yang berdampak pada penurunan efisiensi kerja dan kerugian finansial. Cara mengatasi masalah ketidakpastian tersebut, penelitian ini menawarkan solusi berupa pemodelan stokastik menggunakan metode rantai markov untuk memprediksi pola permintaan material Tubing jenis 2.7/8 IN, J-55, EU, R2, 6.50 PPF. Data yang digunakan adalah data sekunder periode Januari 2021 hingga September 2025 yang dianalisis dalam skala triwulan. Prediksi distribusi permintaan triwulan berikutnya diperoleh melalui matriks peluang transisi satu langkah ke depan, dengan peluang terbesar berada pada *State 4* sebesar 39,29%, diikuti oleh *State 3* sebesar 20,64%, *State 2* sebesar 17,46%, *State 0* sebesar 16,07%, dan *State 1* sebesar 6,55%. Selain itu, analisis *steady state* menunjukkan bahwa dalam jangka panjang permintaan tubing cenderung berada pada kategori permintaan tinggi. Temuan ini memberikan informasi kuantitatif mengenai pola probabilistik permintaan yang dapat menjadi referensi dalam perencanaan persediaan material.

Kata kunci: Persediaan; Rantai Markov; State; Tubing

1. Pendahuluan

PT Pertamina Hulu Rokan Zona 1 Field Jambi merupakan entitas strategis dalam industri energi nasional yang menuntut efisiensi operasional tinggi guna menjamin ketahanan migas Indonesia. Keberhasilan operasional di PT Pertamina Hulu Rokan Zona 1 Field Jambi sangat bergantung pada efektivitas *Supply Chain Management* (SCM) dalam mengelola seluruh aliran material dan informasi secara presisi [1]. SCM memiliki peranan vital dalam mengelola inventori, sistem penyimpanan, serta distribusi material yang menunjang keberlangsungan operasional industri migas [2].

Tujuan utama pada divisi SCM di PT Pertamina Hulu Rokan Zona 1 Field Jambi adalah memastikan bahwa setiap kebutuhan teknis di lapangan dapat terpenuhi secara tepat waktu dan tepat jumlah guna menghindari hambatan produksi yang tidak terencana. Melalui analisis mendalam pada sistem logistik, dapat dipelajari penerapan manajemen stok dan koordinasi distribusi secara langsung yang terjadi dalam ekosistem industri migas yang dinamis. Selain itu, kajian pada aktivitas SCM menjadi sarana pengembangan kompe-

tensi dalam analisis data matematis serta pemecahan masalah teknis yang kompleks di industri skala besar. Peningkatan keterampilan dalam analisis data dan ketepatan pengambilan keputusan menjadi aspek krusial guna memperkuat hubungan antara dunia akademik dan kebutuhan industri nyata [2].

PT Pertamina Hulu Rokan Zona 1 Field Jambi memegang tanggung jawab besar atas pengelolaan aset minyak dan gas di wilayah Jambi [3]. Aktivitas perusahaan tersebut mencakup spektrum luas mulai dari pengeboran, produksi, hingga manajemen fasilitas pendukung yang berkelanjutan. Keberhasilan dalam menjaga laju produksi nasional sangat bergantung pada ketersediaan material teknis yang bersifat krusial, salah satunya adalah material tubing [3]. Tantangan yang dihadapi oleh divisi SCM di PT Pertamina Hulu Rokan Zona 1 Field Jambi adalah pengendalian persediaan material tubing dengan spesifikasi khusus, seperti jenis 2.7/8 IN, J-55, EU, R2, 6.50 PPF.

Tubing didefinisikan sebagai pipa produksi yang dipasang di dalam sumur untuk mengalirkan fluida dari reservoir menuju ke permukaan secara efisien. Tanpa ketersediaan tubing yang memadai, proses penyelesaian sumur (*well completion*) akan

mengalami hambatan operasional yang signifikan. Dalam konteks operasional migas di Pertamina, persediaan merupakan aset penting yang berfungsi sebagai penyangga (*buffer*) untuk menjaga kelancaran operasi perusahaan di segala kondisi [4]. Pengendalian persediaan merupakan upaya sistematis untuk menetapkan jumlah serta komposisi stok yang optimal guna menjamin ketersediaan material bagi kebutuhan pengeboran sumur di wilayah Jambi [5].

Berdasarkan pengamatan teknis pada sistem pergudangan PT Pertamina Hulu Rokan Zona 1 Field Jambi, teridentifikasi permasalahan pada sistem permintaan tubing yang memengaruhi efisiensi kerja. Masalah utama yang ditemukan berkaitan dengan kendala dalam proses permintaan tubing untuk kegiatan pengeboran sumur dan produksi minyak secara rutin di lapangan. Sering kali ditemukan ketidaksesuaian antara jumlah stok tubing yang tersedia di gudang dengan kebutuhan aktual yang diminta oleh tim operasional lapangan [6]. Akibat dari ketidaksesuaian stok ini, kegiatan pengeboran terkadang harus menggunakan tubing sisa atau cadangan dengan spesifikasi yang berbeda dari rencana awal. Kondisi penggunaan material yang tidak sesuai standar awal ini berpotensi menurunkan efisiensi kerja dan memengaruhi integritas jangka panjang dari hasil produksi sumur [6].

Selain dampak teknis, ketidaksesuaian persediaan ini menyebabkan kerugian berupa tambahan waktu operasional dan tenaga ekstra dalam penyesuaian spesifikasi tubing yang telah terpasang sebelumnya. Permintaan tubing yang dikelola di PT Pertamina Hulu Rokan Zona 1 Field Jambi didasarkan pada analisis periode waktu yang menunjukkan pola ketergantungan antarperiode. Karakteristik data menunjukkan bahwa probabilitas permintaan periode sekarang hanya bergantung pada status permintaan satu langkah sebelumnya, tanpa dipengaruhi periode yang sudah terlalu lampau. Karakteristik stokastik ini sesuai dengan prinsip Rantai Markov yang menganalisis transisi antar keadaan berdasarkan distribusi probabilitas tertentu. Rantai Markov merupakan suatu model probabilistik yang digunakan untuk menganalisis transisi dari satu keadaan (*state*) ke keadaan lainnya berdasarkan matriks transisi yang stabil [7].

Melalui pembentukan vektor keadaan dan matriks transisi, model ini mampu memproyeksikan kondisi persediaan di periode mendatang secara akurat. Penerapan metode ini telah terbukti memberikan manfaat besar dalam meminimalkan risiko ketidakpastian permintaan di berbagai sektor industri [8]. Analisis dalam studi ini dipertajam menggunakan metode Rantai Markov untuk memprediksi perubahan permintaan tubing di PT Pertamina Hulu Rokan Zona 1 Field Jambi secara triwulanan [9]. Prediksi dilakukan untuk periode tiga bulan ke depan yang diasumsikan hanya bergantung pada kondisi tiga bulan saat ini sebagai basis perhitungan. Pola probabilistik pada permintaan material teknis dapat dimodelkan secara efektif melalui transisi antar state permintaan di setiap periode waktu yang ditentukan [10].

Pemilihan pendekatan triwulanan didasarkan pada fakta bahwa proses pemesanan material ke gudang utama Pertamina umumnya dilakukan dalam siklus dua hingga tiga bulan sekali. Hasil akhir analisis akan menghasilkan kondisi keseimbangan jangka panjang atau *steady state* yang bersifat stabil [11]. Kondisi ini menggambarkan proporsi peluang permintaan tubing pada masing-masing tingkatan keadaan dalam jangka waktu lama guna mendukung efisiensi pengelo-

laan rantai pasok migas nasional [11].

2. Konsep Dasar

Bagian ini menyajikan perangkat formal dan landasan teoretis yang diperlukan sebelum pembahasan hasil utama. Penjelasan mencakup definisi proses stokastik, sifat-sifat khusus rantai markov, serta mekanisme perhitungan *steady state* yang menjadi inti dari analisis prediksi permintaan.

2.1. Proses Stokastik

Proses stokastik adalah sekumpulan variabel acak $X = \{X_t, t \in N\}$ dengan t berperan sebagai indeks waktu [12]. Kumpulan seluruh nilai yang mungkin dari variabel acak X_t disebut ruang *state* dan dilambangkan dengan S . Untuk setiap t pada himpunan indeks T , X_t merepresentasikan variabel acak yang menunjukkan *state* atau keadaan proses pada waktu t . Ruang *state* S dapat berupa: $S \subseteq Z$ (himpunan bilangan bulat) atau $S \subseteq R$ (himpunan bilangan real). Jika himpunan indeks T merupakan himpunan yang dapat dihitung (tercacah), maka proses stokastik X dikategorikan sebagai proses stokastik waktu diskrit. Sebaliknya, jika T merupakan suatu interval, maka disebut proses stokastik waktu kontinu.

2.2. Rantai Markov

Rantai Markov merupakan bentuk khusus dari proses stokastik diskrit yang memiliki sifat Markovian, yaitu peluang terjadinya suatu keadaan di masa depan hanya bergantung pada keadaan saat ini dan tidak bergantung pada urutan keadaan sebelumnya. Analisis rantai Markov menghasilkan informasi probabilitas yang berguna dalam pengambilan keputusan, sehingga metode ini bersifat deskriptif dan bukan merupakan teknik optimasi. Jika pada waktu t proses stokastik $\{X_t, t = 0, 1, \dots\}$ berada dalam keadaan i , maka kejadian tersebut dinyatakan dengan $X_t = i$ [13]. Sifat Markovian secara matematis dinyatakan sebagai

$$\begin{aligned} P_{ij} &= P(X_{t+1} = j \mid X_t = i, X_{t-1} = i_{t-1}, \dots, X_1 = i_1, X_0 = i_0) \\ &= P(X_{t+1} = j \mid X_t = i), \end{aligned}$$

untuk semua keadaan $i_0, i_1, \dots, i_{t-1}, i, j$ dan untuk setiap $t \geq 0$.

Jika probabilitas transisi P_{ij} tidak bergantung pada waktu t , maka proses stokastik tersebut disebut sebagai rantai Markov homogen waktu (*time-homogeneous Markov chain*). Berdasarkan persamaan di atas, dapat disimpulkan bahwa probabilitas kejadian mendatang X_{t+1} hanya ditentukan oleh keadaan saat ini X_t , dan tidak dipengaruhi oleh keadaan-keadaan sebelumnya. Sifat ini dikenal sebagai sifat Markovian [13].

2.3. State

State space (ruang keadaan) adalah himpunan keseluruhan keadaan yang dapat ditempati oleh suatu proses stokastik, sedangkan probabilitas transisi antar state dirumuskan dalam bentuk matriks transisi. Ditunjukkan juga bahwa distribusi awal dan matriks transisi bersama-sama menentukan perilaku probabilistik rantai markov [12].

2.4. Matriks Peluang Transisi

Peluang transisi merupakan salah satu karakteristik utama rantai markov. Peluang-peluang ini menggambarkan kemungkinan perpindahan dari satu keadaan ke keadaan lainnya. Dengan kata lain, mereka menunjukkan peluang suatu proses berada dalam keadaan tertentu jika keadaan sebelumnya diketahui [7]. Jika sebuah rantai markov $\{X_n, n = 0, 1, \dots\}$ dengan ruang state $\{0, 1, 2, \dots, n\}$, probabilitas bahwa sistem berada dalam state- i pada suatu state- j pada pengamatan sebelumnya dilambangkan sebagai P_i dan disebut sebagai peluang transisi dari state- i ke state- j . Kumpulan seluruh peluang transisi tersebut membentuk matriks peluang transisi $P = [P_{ij}]$, yang mendefinisikan perilaku sistem dari waktu ke waktu [14]:

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & \cdots & P_{0j} \\ P_{10} & P_{11} & \cdots & P_{1j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{i0} & P_{i1} & \cdots & P_{ij} \end{bmatrix} \quad (1)$$

dengan $P_{ij} \geq 0, i, j \geq 0$ dan $\sum_{j=0}^{\infty} P_{ij} = 1$.

Berikut ini disajikan tahapan dalam menentukan peluang rantai markov dari satu periode ke periode berikutnya dengan menggunakan peluang transisi n -langkah, yaitu peluang bahwa suatu proses yang pada awalnya berada pada state i akan berpindah ke state j , yang direpresentasikan melalui matriks peluang transisi berikut [15]:

$$P^{(n)} = \begin{bmatrix} P_{00}^{(n)} & P_{01}^{(n)} & \cdots & P_{0j}^{(n)} \\ P_{10}^{(n)} & P_{11}^{(n)} & \cdots & P_{1j}^{(n)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{i0}^{(n)} & P_{i1}^{(n)} & \cdots & P_{ij}^{(n)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

dengan:

$$P_{ij}^{(n)} = P(X_{n+k} = j | X_k = i), \quad n, i, j \geq 0 \quad (3)$$

Perhitungan matriks peluang transisi adalah sebagai berikut:

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_S}; \quad i, j = 0, 1, 2, 3, 4 \quad (4)$$

Keterangan: P_{ij} adalah peluang perpindahan pada periode n ke state j pada periode $n - 1$; n_{ij} adalah jumlah perpindahan dari state i ke state j ; n_S adalah jumlah perpindahan dari state i ke seluruh state j [16].

2.5. State Vektor

Suatu keadaan dalam rantai markov dapat dituliskan dalam bentuk vektor yang disebut vektor keadaan. Vektor keadaan pada suatu pengamatan rantai markov dengan X_t dilambangkan sebagai vektor baris x [17]. State Vektor merupakan vektor baris yang memuat nilai peluang dari masing-masing state. Secara umum, distribusi peluang transisi dalam rantai markov dengan beberapa state dinyatakan sebagai berikut [17]:

$$x = \{x_0, x_1, \dots, x_i\} \quad (5)$$

Keterangan: x adalah vektor baris distribusi peluang transisi; x_0 peluang transisi dari state 0; x_1 peluang transisi dari state 1; dst. Perhitungan matriks peluang transisi adalah sebagai berikut: $p_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_i}$. Pada periode awal, vektor keadaan

dilambangkan dengan x_0 , yang menggambarkan distribusi peluang transisi pada awal waktu. Jika $P^{(n)}$ menyatakan matriks transisi markov pada langkah ke- n , maka vektor keadaan pada periode ke- n dirumuskan sebagai berikut [17]:

$$x_n = x_0 P^n \quad (6)$$

2.6. Steady State

Steady state adalah kondisi ketika probabilitas dari suatu state menjadi konstan atau tidak berubah setelah melewati beberapa periode. Dengan kata lain, saat dihitung pada periode selanjutnya, nilai peluang tersebut tetap sama karena sistem telah mencapai keadaan seimbang. Pada kondisi ini, peluang transisi di masa depan tidak lagi dipengaruhi oleh keadaan awal [12]. Proses rantai markov akan selalu menuju *steady state* atau keadaan ekuilibrium. Rumus umum *steady state* dituliskan sebagai berikut [18]:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_{ij}^{(n)} = \pi_j \quad (7)$$

di mana π_j memenuhi persamaan:

$$\pi_j = \sum_{i=0}^m \pi_i P_{ij}, \quad \text{untuk } j = 0, 1, \dots, m \quad (8)$$

3. Metode

Penelitian ini menggunakan desain studi kasus analitis dengan pendekatan kuantitatif untuk memodelkan pola permintaan material teknis di industri minyak dan gas bumi. Fokus penelitian adalah pemodelan dinamika permintaan material Tubing menggunakan pendekatan stokastik berbasis Rantai Markov diskrit, dengan tujuan menganalisis pola transisi permintaan serta karakteristik distribusi jangka panjangnya. Objek penelitian adalah PT Pertamina Hulu Rokan Zona 1 Field Jambi, dengan material yang dianalisis berupa Tubing 2.7/8 IN, J-55, EU, R2, 6.50 PPF yang merupakan komponen krusial dalam operasi pengeboran.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder berupa catatan historis permintaan material periode Januari 2021 hingga September 2025. Data permintaan bulanan dikonversi menjadi data triwulanan yang terbagi ke dalam empat periode (k_1, k_2, k_3, k_4) untuk mengurangi volatilitas jangka pendek dan menangkap pola musiman triwulanan. Seluruh data kemudian diurutkan secara menaik untuk keperluan analisis statistik.

3.1. Klasifikasi State Berdasarkan Kuartil

Klasifikasi state permintaan dilakukan menggunakan metode kuartil. Kuartil dihitung berdasarkan statistik urutan data (*order statistics*) dengan rumus:

$$Q_i = X_{\left(\frac{i(n+1)}{4}\right)}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (9)$$

dengan Q_i menyatakan kuartil ke- i , $X_{(k)}$ adalah observasi ke- k setelah data diurutkan, dan n adalah jumlah observasi [19].

Berdasarkan hasil perhitungan kuartil, diperoleh nilai Q_1 , Q_2 , dan Q_3 yang digunakan sebagai batas interval state.

Data permintaan dengan nilai nol diperlakukan sebagai kategori khusus karena merepresentasikan kondisi tidak adanya permintaan dan tidak dimasukkan dalam perhitungan kuartil. Dengan demikian, pembagian state didefinisikan sebagai berikut:

- **State 0:** $D_t = 0$ (tidak ada permintaan),
- **State 1:** $0 < D_t \leq Q_1$,
- **State 2:** $Q_1 < D_t \leq Q_2$,
- **State 3:** $Q_2 < D_t \leq Q_3$,
- **State 4:** $D_t > Q_3$,

di mana D_t menyatakan jumlah permintaan tubing pada periode t .

3.2. Model Rantai Markov

Model utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rantai Markov waktu diskrit (*Discrete-Time Markov Chain*). Model ini mengasumsikan bahwa probabilitas permintaan pada periode berikutnya hanya bergantung pada state permintaan saat ini (sifat Markov atau *memoryless property*). Matriks peluang transisi satu langkah didefinisikan sebagai:

$$P_{ij} = P(X_{t+1} = j \mid X_t = i), \quad (10)$$

dengan X_t menyatakan state pada periode t . Matriks peluang transisi dihitung sebagai rasio jumlah transisi dari state i ke state j terhadap total transisi dari state i .

Vektor keadaan awal dinyatakan sebagai x_0 , yang merepresentasikan distribusi probabilitas state pada periode awal pengamatan. Evolusi distribusi state dari waktu ke waktu dihitung menggunakan persamaan:

$$x_{t+1} = x_t P. \quad (11)$$

Parameter utama yang dianalisis dalam penelitian ini adalah distribusi *steady state* π , yang memenuhi:

$$\pi = \pi P, \quad \sum_j \pi_j = 1. \quad (12)$$

Distribusi *steady state* digunakan untuk menggambarkan karakteristik distribusi probabilitas permintaan dalam jangka panjang. Perhitungan numerik dilakukan menggunakan Microsoft Excel untuk tabulasi data dan perangkat lunak POM-QM untuk simulasi iteratif hingga mencapai konvergensi distribusi *steady state*. Alur penelitian meliputi identifikasi masalah ketidaksesuaian stok, klasifikasi state permintaan, estimasi matriks peluang transisi, serta analisis distribusi *steady state* [13].

3.3. Kriteria Konvergensi dan Sifat Ergodik Rantai Markov

Distribusi *steady state* diperoleh melalui iterasi vektor keadaan menggunakan persamaan $x_{t+1} = x_t P$. Konvergensi menuju *steady state* dievaluasi menggunakan kriteria toleransi numerik ε berdasarkan norma selisih vektor keadaan berturut-turut, yaitu:

$$\|x_{k+1} - x_k\|_1 < \varepsilon, \quad (13)$$

dengan ε ditetapkan sebesar 10^{-6} . Iterasi dihentikan ketika perubahan distribusi probabilitas antar iterasi berturut-turut berada di bawah nilai toleransi tersebut [13].

Selain itu, sifat ergodik dari rantai Markov diperiksa berdasarkan dua kondisi utama, yaitu irreducibility dan aperiodicity. Rantai Markov dikatakan irreducible jika setiap state dapat dicapai dari state lainnya dalam sejumlah langkah terbatas, yang ditunjukkan oleh elemen matriks peluang transisi yang tidak nol. Aperiodicity diperiksa melalui keberadaan peluang transisi diri $P_{ii} > 0$ pada setidaknya satu state. Dengan terpenuhinya kedua kondisi tersebut, rantai Markov bersifat ergodik sehingga distribusi *steady state* dijamin unik dan konvergen terlepas dari vektor keadaan awal [13].

3.4. Prediksi Distribusi State Periode Berikutnya

Untuk memperoleh distribusi probabilitas permintaan pada periode triwulan berikutnya, digunakan prediksi satu langkah ke depan (1-step ahead) berdasarkan state terakhir yang diamati. Vektor keadaan awal dinyatakan sebagai vektor one-hot yang merepresentasikan state pada periode terakhir pengamatan, yaitu:

$$x_{last} = (0, 0, \dots, 1, \dots, 0), \quad (14)$$

di mana elemen bernilai 1 menunjukkan state terakhir yang diamati. Distribusi probabilitas state periode berikutnya dihitung menggunakan persamaan:

$$x_{t+1} = x_{last} P, \quad (15)$$

dengan P adalah matriks peluang transisi satu langkah [13].

Nilai harapan permintaan pada periode berikutnya dihitung sebagai:

$$E[D_{t+1}] = \sum_{j=0}^m x_{t+1,j} \mu_j, \quad (16)$$

dengan μ_j adalah nilai representatif permintaan pada state j (misalnya nilai rata-rata atau titik tengah interval state) [13].

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari penelitian ini, diperoleh jenis data yang digunakan yakni data sekunder berupa catatan historis permintaan material Tubing jenis 2.7/8 IN, J-55, EU, R2, 6.50 PPF. Data tersebut merupakan catatan permintaan dari gudang PT Pertamina Hulu Rokan Zona 1 Field Jambi selama periode Januari 2021 hingga September 2025 yang dianalisis dalam skala triwulan. Data tersebut kemudian diklasifikasikan ke dalam lima state berdasarkan jumlah permintaan triwulanan, yaitu state 0 (Tidak ada), state 1 (Sedikit), state 2 (Sedang), state 3 (Banyak), dan state 4 (Sangat Banyak). Rentang tiap state ditentukan berdasarkan nilai kuartil dari data permintaan yang telah diurutkan guna memastikan pembagian interval yang objektif dan proporsional. Berikut ini merupakan interval dari masing-masing state:

Table 1: Klasifikasi State Permintaan Tubing

State	Keterangan	Jumlah Permintaan Tubing (Joint)
0	Tidak ada	0
1	Sedikit	1 – 63
2	Sedang	64 – 374
3	Banyak	375 – 462
4	Sangat Banyak	≥ 463

Pada Tabel 1 bisa didapatkan frekuensi perpindahan dari satu state ke state lainnya selama periode observasi penelitian tersebut disajikan dalam Tabel 2 sebagai berikut:

Table 2: Frekuensi Perpindahan Tubing

State Asal (i)	State Tujuan (j)					Total
	0	1	2	3	4	
0	0	0	0	1	2	3
1	1	0	0	0	0	1
2	1	0	1	2	0	4
3	1	0	0	0	3	4
4	0	1	2	1	2	6
Total	3	1	3	4	7	18

4.1. Matriks Peluang Transisi

Berdasarkan Tabel 2, maka didapatkan matriks peluang transisi berdasarkan persamaan matriks sebagai berikut:

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0,3333 & 0,6667 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,25 & 0 & 0,25 & 0,5 & 0 \\ 0,25 & 0 & 0 & 0 & 0,75 \\ 0 & 0,1667 & 0,3333 & 0,1666 & 0,3333 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Selanjutnya, penentuan peluang matriks transisi dilakukan dengan membagi jumlah data tubing pada setiap state dengan jumlah keseluruhan sampel data tubing. Perhitungan peluang matriks transisi ini untuk memperoleh proporsi masing-masing state terhadap total data. Adapun nilai distribusi peluang transisi disusun menjadi vektor distribusi peluang transisi x_0 dengan menggunakan persamaan vektor keadaan yaitu sebagai berikut:

$$x_0 = [0,1667 \quad 0,0556 \quad 0,1667 \quad 0,2222 \quad 0,3889] \quad (18)$$

4.2. Menghitung Peluang Steady State

Prediksi permintaan tubing dapat dilakukan dengan berdasarkan nilai distribusi peluang transisi dari permintaan tubing itu sendiri. Dari perhitungan sebelumnya, telah diperoleh nilai distribusi peluang transisi awal x_0 dan matriks peluang transisi $P^{(1)}$ untuk permintaan tubing spesifikasi 2.7/8 IN, J-55, EU, R2, 6.50 PPF. Berdasarkan nilai tersebut, dapat dihitung x_n untuk memprediksi distribusi permintaan tubing pada periode ke- n .

$$\begin{aligned} x_1 &= x_0 P^{(1)} \\ &= [0,1667 \quad 0,0556 \quad 0,1667 \quad 0,2222 \quad 0,3889] \times P^{(1)} \\ &= [0,197 \quad 0,105 \quad 0,214 \quad 0,201 \quad 0,280] \end{aligned}$$

Nilai peluang matriks transisi n langkah $P^{(n)}$ yaitu:

$$P^{(2)} = P^{(1)} \times P^{(1)} = \begin{bmatrix} 0,0833 & 0,1111 & 0,2222 & 0,1111 & 0,4722 \\ 0 & 0 & 0 & 0,3333 & 0,6667 \\ 0,1875 & 0 & 0,0625 & 0,2083 & 0,5417 \\ 0 & 0,125 & 0,25 & 0,2083 & 0,4167 \\ 0,2917 & 0,0556 & 0,1944 & 0,2222 & 0,2361 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Dengan metode yang sama, diperoleh nilai peluang transisi ketika berada pada kondisi *steady state*, yaitu:

$$\begin{aligned} x_{23} &= x_0 P^{(23)} \\ &= [0,1667 \quad 0,0556 \quad 0,1667 \quad 0,2222 \quad 0,3889] \times P^{(23)} \\ &= [0,16071 \quad 0,06548 \quad 0,17460 \quad 0,20635 \quad 0,39286] \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode rantai markov, diperoleh kondisi *steady state* ke-23 untuk permintaan tubing 2.7/8 IN, J-55, EU, R2, 6.50 PPF (dalam satuan Joint). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa peluang sistem berada pada state 0, yaitu kondisi tidak ada permintaan (0 Joint) sebesar 0,1607 atau 16,07%, state 1 atau permintaan sedikit (1–63 Joint) sebesar 0,0655 atau 6,55%, state 2 atau permintaan sedang (64–374 Joint) sebesar 0,1746 atau 17,46%, state 3 atau permintaan banyak (375–462 Joint) sebesar 0,2064 atau 20,64%, dan state 4 atau permintaan sangat banyak (≥ 463 Joint) sebesar 0,3928 atau 39,28%.

4.3. Prediksi Peluang Masa Mendatang

Berdasarkan hasil peluang *steady state*, maka didapatkan prediksi permintaan tubing yang disajikan pada Tabel 3:

Table 3: Peluang Prediksi Permintaan Tubing

State	Keterangan	Peluang
0	Tidak ada	16,07%
1	Sedikit	6,55%
2	Sedang	17,46%
3	Banyak	20,64%
4	Sangat Banyak	39,28%

Berdasarkan hasil perhitungan pada kondisi *steady state* diperoleh peluang untuk setiap keadaan permintaan tubing 2.7/8 IN, J-55, EU, R2, 6.50 PPF. Pada state 0 diperoleh proporsi sebesar 0,1607, yang menunjukkan bahwa sekitar 16,07% data berada pada kondisi tidak ada permintaan tubing (0 Joint). Pada state 1, nilai peluang sebesar 0,06548, yang berarti sekitar 6,55% data berada pada kondisi permintaan sedikit (1–63 Joint). Selanjutnya, pada state 2 diperoleh nilai peluang sebesar 0,1746, yang menunjukkan bahwa sekitar 17,46% data berada pada kondisi permintaan sedang (64–374 Joint). Untuk state 3, nilai peluang sebesar 0,2063, yang mengindikasikan bahwa sekitar 20,64% data berada pada kondisi permintaan banyak (375–462 Joint). Terakhir, pada state 4 diperoleh nilai peluang sebesar 0,39286, yang berarti sekitar 39,28% data berada pada kondisi permintaan sangat banyak (≥ 463 Joint).

Berdasarkan hasil perhitungan peluang transisi n -langkah, diperoleh bahwa distribusi peluang pada sistem mulai mendekati nilai tetap (*steady state*) ketika mencapai langkah ke-23. Artinya, hingga iterasi ke-23, probabilitas setiap state masih mengalami perubahan karena sistem masih menyesuaikan pola perpindahan permintaan dari periode sebelumnya. Namun, setelah melewati iterasi ke-23, nilai probabilitas

untuk setiap state tidak lagi berubah secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah mencapai kondisi seimbang, sehingga proporsi peluang permintaan tubing pada masing-masing state akan tetap konstan pada periode-periode berikutnya. Dengan demikian, iterasi ke-23 menjadi titik dimana distribusi probabilitas permintaan tubing memasuki keadaan *steady state* dan selanjutnya dapat digunakan sebagai dasar untuk memprediksi pola jangka panjang.

4.4. Analisis Konvergensi Steady State

Iterasi distribusi state dilakukan hingga perubahan antar iterasi memenuhi kriteria konvergensi $\|x_{k+1} - x_k\|_1 < 10^{-6}$. Hasil menunjukkan bahwa distribusi probabilitas mulai stabil pada iterasi ke-23, yang ditandai dengan perubahan nilai probabilitas yang sangat kecil antar iterasi berturut-turut.

Berdasarkan struktur matriks peluang transisi, seluruh state saling terhubung sehingga rantai Markov bersifat irreducible. Selain itu, terdapat peluang transisi diri pada beberapa state ($P_{ii} > 0$), yang menunjukkan sifat aperiodic. Dengan demikian, rantai Markov yang dianalisis bersifat ergodik, sehingga distribusi steady state yang diperoleh bersifat unik dan independen terhadap kondisi awal.

4.5. Prediksi Distribusi Permintaan Triwulan Berikutnya

Prediksi distribusi permintaan triwulan berikutnya dilakukan menggunakan pendekatan prediksi satu langkah ke depan (*1-step ahead forecast*) berdasarkan model Rantai Markov. Vektor keadaan awal didefinisikan sebagai vektor one-hot yang merepresentasikan state permintaan pada periode terakhir pengamatan, yaitu:

$$x_{last} = (0, 0, \dots, 1, \dots, 0), \quad (20)$$

di mana elemen bernilai satu menunjukkan state terakhir yang diamati, sedangkan elemen lainnya bernilai nol. Distribusi probabilitas state pada periode triwulan berikutnya dihitung menggunakan persamaan:

$$x_{t+1} = x_{last}P, \quad (21)$$

dengan P merupakan matriks peluang transisi satu langkah. Vektor x_{t+1} memberikan probabilitas bahwa permintaan pada periode berikutnya berada pada masing-masing state.

Untuk memperoleh estimasi kuantitatif jumlah permintaan, nilai harapan permintaan pada periode berikutnya dihitung menggunakan nilai representatif permintaan pada setiap state. Nilai representatif tersebut dapat berupa nilai rata-rata atau titik tengah interval state. Secara matematis, nilai harapan permintaan dinyatakan sebagai:

$$E[D_{t+1}] = \sum_{j=0}^m x_{t+1,j} \mu_j, \quad (22)$$

dengan $x_{t+1,j}$ adalah probabilitas state ke- j pada periode berikutnya, μ_j adalah nilai representatif permintaan pada state ke- j , dan m adalah jumlah state.

Hasil prediksi distribusi state permintaan triwulan berikutnya disajikan pada Tabel 4. Berdasarkan distribusi probabilitas tersebut, diperoleh nilai harapan permintaan yang

digunakan sebagai estimasi kebutuhan material tubing pada periode triwulan mendatang.

Table 4: Distribusi Peluang Prediksi Permintaan Triwulan Berikutnya

State	Probabilitas
State 0	0.16071
State 1	0.06548
State 2	0.17460
State 3	0.20635
State 4	0.39286

Nilai harapan permintaan yang diperoleh dapat merepresentasikan estimasi jumlah tubing yang dibutuhkan pada periode triwulan berikutnya, sehingga hasil prediksi ini dapat digunakan sebagai masukan awal dalam perencanaan persediaan material. Namun, prediksi ini bersifat probabilistik dan tidak mempertimbangkan faktor operasional lain seperti lead time, kebijakan persediaan, dan biaya simpan, sehingga integrasi dengan model manajemen persediaan menjadi arah penelitian selanjutnya.

5. Kesimpulan

Penelitian ini menerapkan metode Rantai Markov untuk memprediksi permintaan material Tubing 2.7/8 IN, J-55, EU, R2, 6.50 PPF di PT Pertamina Hulu Rokan Zona 1 Field Jambi. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem mencapai kondisi *steady state* pada triwulan ke-23. Pada kondisi stabil tersebut, peluang permintaan tertinggi berada pada State 4 (Sangat Banyak) sebesar 39,28%, diikuti State 3 (Banyak) sebesar 20,64%.

Berdasarkan hasil tersebut, divisi SCM direkomendasikan untuk menerapkan strategi pengadaan yang lebih akurat dengan memodelkan peluang state permintaan pada ambang batas State 4 (≥ 463 Joint). Langkah ini penting untuk menjamin kelancaran operasional pengeboran sekaligus meminimalkan biaya akibat ketidaksesuaian stok. Secara umum, model ini memberikan dasar keputusan yang lebih terarah bagi manajemen inventori industri migas. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan integrasi data secara *real-time* agar prediksi lebih responsif.

Pernyataan Kontribusi Penulis (CRediT)

Candra Rijaya: Konseptualisasi, Metodologi, Penulisan – Draf Awal, Perangkat Lunak, Validasi, Visualisasi.

Gusmi Kholijah: Kurasi Data, Analisis Formal, Penulisan – Telaah dan Penyuntingan.

Deklarasi Penggunaan AI atau Teknologi Berbasis AI

Model Gemini digunakan untuk membantu penyusunan draf awal, pengolahan data menjadi narasi, serta koreksi struktur kalimat guna meningkatkan kejelasan dan alur penulisan dalam artikel ini.

Deklarasi Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih yang tulus ditujukan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, dan arahan selama proses penelitian ini. Peneliti juga menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pimpinan dan seluruh staf divisi *Supply Chain Management* (SCM) PT Pertamina Hulu Rokan Zona 1 Field Jambi atas kesempatan, data, serta informasi berharga yang diberikan selama pelaksanaan magang. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi atas fasilitas serta dukungan akademik yang telah diberikan. Peneliti tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada keluarga tercinta serta rekan-rekan mahasiswa yang telah memberikan semangat, doa, dan kerja sama selama pelaksanaan penelitian ini.

Ketersediaan Data

Data pendukung dalam penelitian ini dapat diperoleh dari penulis korespondensi atas izin dan permintaan kepada divisi *Supply Chain Management* (SCM) PT Pertamina Hulu Rokan Zona 1 Field Jambi. Ketentuan akses terhadap data tersebut sepenuhnya tunduk pada peraturan perusahaan serta perjanjian kerahasiaan informasi yang berlaku di lingkungan PT Pertamina.

Daftar Pustaka

- [1] I. N. Pujawan and E. Mahendrawathi, *Supply Chain Management*, 3rd ed. Surabaya: Penerbit ANDI, 2017.
- [2] M. Suhardi, *Buku Ajar Manajemen Sumber Daya Manusia Pendidikan*. Pusat Pengembangan dan Penelitian Indonesia, 2023.
- [3] A. Jumiono and A. T. Panudju, *Pengantar Teknik Industri*. Jambi: PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2025. Available online.
- [4] C. C. Nwanwe, U. I. Duru, O. I. Nwanwe, A. O. Chikwe, K. T. Ojiabo, and C. T. Umeojiakor, "Optimum tubing size prediction model for vertical multiphase flow during flow production period of oil wells," *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, vol. 10, no. 7, pp. 2989–3005, 2020. DOI: [10.1007/s13202-020-00966-2](https://doi.org/10.1007/s13202-020-00966-2).
- [5] A. Y. Nugroho, *Sistem dan Teknik Inventory*. Gemilang Press, 2025.
- [6] M. Arif and S. Rozi, "Analisis permintaan material tubing dengan metode single eksponensial smoothing pt Pertamina ep field jambi," *Jurnal Publikasi Ekonomi dan Akuntansi*, vol. 5, no. 2, pp. 369–376, 2025. Available online.
- [7] A. Goswami, H. K. Sarmah, G. Choudhury, and A. Begum, "The most invaluable contribution of a.a. markov towards probability theory and modern technology: A historical search," *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, vol. 7, no. 3, pp. 33–40, 2020.
- [8] K. Koerniawan, A. Nilsen, F. P. Sari, M. Y. Ayyasy, and S. W. Indratno, "Pemodelan peluang transisi rantai markov dengan simulasi monte carlo berdasarkan distribusi multinoulli untuk memprediksi harga indeks saham," *Jurnal Statistika dan Aplikasinya*, vol. 6, no. 2, 2022. DOI: [10.21009/JSA.06201](https://doi.org/10.21009/JSA.06201).
- [9] N. A. Fauziyah and R. Yotenka, "Prediksi peluang transisi data pendaftaran ice institute menggunakan metode rantai markov," *Emerging Statistics and Data Science Journal*, vol. 3, no. 1, 2025.
- [10] S. Nuryam, Arman, N. Mukhtar, Jufra, and L. Gubu, "Aplikasi analisis rantai markov untuk memprediksi status pasien rumah sakit umum daerah (rsud) kabupaten buton," *Jurnal Matematika, Komputasi dan Statistika*, vol. 2, no. 2, 2022.
- [11] F. Yuna, B. Erkeyman, and M. Yilmaz, "Markov approach for inventory control with metaheuristics in intermittent demand environment," *PLoS One*, vol. 20, no. 6, 2025. DOI: [10.1371/journal.pone.0298765](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0298765).
- [12] L. Razdolsky, *Probability-Based Structural Fire Load*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [13] D. R. Cox and H. D. Miller, *The Theory of Stochastic Processes*. London: Chapman & Hall/CRC, 1965.
- [14] F. A. Gifari, M. A. Maulana, and S. Maulana, "Analisis rantai markov untuk mengetahui peluang perpindahan konsumen merek laptop pada mahasiswa teknik industri universitas indraprasta PGRI," *Bulletin of Applied Industrial Engineering Theory*, vol. 3, no. 1, 2022.
- [15] N. Firda, B. N. Ruchjana, and D. Chaerani, *Proses Stokastik*. Bandung: Alqaprint Jatinangor, 2020.
- [16] A. Akhdan and A. Fauzy, "Pendekatan rantai markov waktu diskrit dalam memprediksi penurunan dan kenaikan jumlah pelanggan air minum baru pdam kota surakarta," *Emerging Statistics and Data Science Journal*, vol. 1, no. 2, 2023. DOI: [10.20961/esds.v1i2.71531](https://doi.org/10.20961/esds.v1i2.71531).
- [17] H. Pishro-Nik, *Introduction to Probability, Statistics, and Random Processes*. Kappa Research, 2014.
- [18] H. M. Nizam and R. B. F. Hakim, "Prediksi peluang transisi jumlah pengesahan peraturan perusahaan provinsi yogyakarta menggunakan rantai markov," *Emerging Statistics and Data Science Journal*, vol. 2, no. 1, pp. 166–174, 2024. DOI: [10.20961/esds.v2i1.82914](https://doi.org/10.20961/esds.v2i1.82914).
- [19] M. R. Maulana, A. Abdunnur, and M. R. Syahrir, "Analisis kuartil, desil dan persentil pada ukuran panjang udang loreng (*mierspenaeopsis sculptilis*) di perairan muara ilu kabupaten kutai kartanegara," *Tropical Aquatic Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 10–16, 2022.