Penerapan Metode Fuzzy Time Series Chen dalam Peramalan Nilai Ekspor dan Impor Provinsi Sumatera Utara

Azi Yustriawan[1*], Susiana[2]
[1,2] Matematika, Universitas Negeri Medan, Kota Medan, 20221, Indonesia
*Coresponding Author: aziyustriawan888@gmail.com

Abstrak

Peramalan nilai ekspor dan impor memiliki peran penting dalam pengambilan keputusan ekonomi dan perencanaan perdagangan internasional. Penelitian ini bertujuan untuk meramalkan nilai ekspor dan impor Provinsi Sumatera Utara menggunakan metode Fuzzy Time Series Chen. Metode ini dipilih karena mampu menangani ketidakpastian dan fluktuasi data historis secara fleksibel. Tahapan penelitian meliputi pembentukan Himpunan Semesta, penentuan panjang interval menggunakan rumus Sturges, fuzzifikasi data historis, pembentukan Fuzzy Logic Relationship (FLR) dan FLR Group (FLRG), serta defuzzifikasi untuk menghasilkan nilai peramalan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Fuzzy Time Series Chen dapat digunakan untuk meramalkan nilai ekspor dan impor dengan tingkat akurasi yang memadai, yang ditunjukkan melalui evaluasi menggunakan indikator MSE, MAPE, dan MAE. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pihak terkait dalam perencanaan perdagangan serta memberikan alternatif metode peramalan yang efektif untuk data runtun waktu ekonomi.
Kata kunci: *Fuzzy Time Series, Metode Chen, Peramalan, Ekspor dan Impor, Data Runtun Waktu*.

Abstrack

Forecasting export and import values is crucial for economic decision-making and international trade planning. This study aims to forecast the export and import values of North Sumatra Province using the Chen Fuzzy Time Series method. This method was selected due to its ability to effectively handle uncertainty and fluctuations in historical data. The research process involves constructing the Universe of Discourse, determining interval length through Sturges' formula, fuzzifying historical data, developing Fuzzy Logic Relationships (FLR) and Fuzzy Logic Relationship Groups (FLRG), and defuzzifying the data to generate forecast values. The results demonstrate that the Chen Fuzzy Time Series method can effectively forecast export and import values with an adequate level of accuracy, as evaluated using Mean Squared Error (MSE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), and Mean Absolute Error (MAE). This study is expected to serve as a valuable reference for stakeholders in trade planning and provide an alternative, efficient forecasting approach for economic time series data.
Keywords: *Fuzzy Time Series, Chen Method, Forecasting, Export and Import, Time Series Data.*

Citation: Yustriawan, A., & Susiana (2025). Penerapan Metode Fuzzy Time Series Chen dalam Peramalan Nilai Ekspor dan Impor Provinsi Sumatera Utara. *Prodising Seminar Nasional Jurusan Matematika 2025*. 864 – 873.

PENDAHULUAN

Peramalan (Forecasting) merupakan salah satu aspek penting dalam bidang matematika terapan, khususnya dalam analisis data deret waktu (Time Series). Peramalan digunakan untuk memperkirakan nilai suatu variabel di masa depan berdasarkan data historis yang telah tersedia. Dalam dunia nyata, data deret waktu sering kali tidak bersifat deterministik atau linier, melainkan mengandung unsur ketidakpastian, fluktuatif, dan kompleks. Karakteristik ini menyebabkan banyak metode peramalan klasik, seperti Regresi Linier, ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average), atau metode Eksponensial, tidak mampu memberikan hasil yang optimal dalam kondisi data yang tidak pasti. Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan, para peneliti mulai mengembangkan pendekatan peramalan yang dapat mengakomodasi ketidakpastian dan ketidakjelasan dalam data. Salah satu pendekatan yang cukup efektif adalah penggunaan Logika Fuzzy (Fuzzy Logic), yang diperkenalkan pertama kali oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965. Logika fuzzy merupakan pengembangan dari logika klasik (biner), di mana suatu elemen tidak hanya memiliki nilai benar atau salah (1 atau 0), melainkan dapat memiliki derajat keanggotaan dalam suatu himpunan fuzzy yang nilainya berada di antara 0 dan 1. Konsep ini sangat berguna dalam menangani data yang bersifat linguistik atau ambigu.

Dalam konteks peramalan, logika fuzzy kemudian dikembangkan menjadi metode Fuzzy Time Series (FTS). Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Song dan Chissom pada tahun 1993. Mereka menggunakan pendekatan himpunan fuzzy dalam menganalisis deret waktu, di mana data historis difuzzifikasi ke dalam himpunan linguistik, kemudian dibentuk relasi logis fuzzy antar data tersebut untuk membentuk model peramalan. Namun, model awal ini masih memiliki kelemahan dari segi kompleksitas komputasi dan ketelitian hasil. Perkembangan signifikan terjadi ketika Chen (1996) menyederhanakan metode FTS yang dikembangkan oleh Song dan Chissom. Model yang dikenal dengan Fuzzy Time Series Chen mengurangi kerumitan proses dengan memanfaatkan relasi Fuzzy tingkat pertama (first-order fuzzy logical relationships) serta menetapkan batasan yang lebih praktis dalam proses fuzzifikasi. Dalam metode ini,

domain data dibagi menjadi beberapa interval, kemudian dibentuk himpunan fuzzy berdasarkan interval tersebut. Relasi fuzzy kemudian dibentuk dari pola transisi nilai antar tahun, dan hasil peramalan diperoleh dari relasi-relasi ini melalui proses defuzzifikasi.

Dengan kata lain, metode ini tidak hanya melibatkan analisis numerik, tetapi juga analisis simbolik dan logis. Penerapan FTS Chen merupakan representasi nyata dari bagaimana teori matematika abstrak dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan praktis yang kompleks. Penerapan metode ini menjadi sangat relevan ketika digunakan pada data ekspor dan impor. Sebagai contoh kasus yang dipilih dalam penelitian ini, Data Nilai Ekspor dan Impor Provinsi Sumatera Utara merupakan data deret waktu tahunan yang bersifat fluktuatif dan tidak pasti. Nilai-nilai ini sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal seperti kondisi pasar global, perubahan harga komoditas, nilai tukar rupiah terhadap mata uang asing, serta perubahan kebijakan perdagangan nasional dan internasional. Ketidakpastian inilah yang membuat data ekspor dan impor menjadi kasus ideal untuk diuji menggunakan metode Fuzzy Time Series Chen.

Metode fuzzy time series merupakan teknik peramalan yang memanfaatkan data runtun waktu dengan menerapkan konsep fuzzy. Peramalan yang berbasis pada aturan-aturan fuzzy inilah yang dikenal dengan istilah fuzzy time series. Supaya dapat digunakan untuk memprediksi data masa depan, metode ini harus terlebih dahulu mengidentifikasi pola dari data historis (Song, 1993). Proses konversi antara pernyataan linguistik ke bentuk numerik maupun sebaliknya difasilitasi oleh logika fuzzy (Synaptic, 2006). Himpunan fuzzy sendiri dapat dipahami sebagai himpunan dengan batas yang tidak tegas pada suatu kelas bilangan. Pada metode fuzzy time series, angka-angka yang digunakan berasal dari himpunan fuzzy bilangan real yang didefinisikan berdasarkan semesta pembicaraan tertentu. Fungsi dari himpunan fuzzy adalah menggantikan data historis yang akan diproyeksikan. Dalam penerapannya, panjang interval harus ditentukan sejak awal karena penentuan interval serta pembentukan fuzzy relationship sangat memengaruhi hasil akhir peramalan (DulfitriEha, 2023). Selain itu, Sumatera Utara merupakan salah satu provinsi penting di Indonesia dalam hal aktivitas Ekspor dan Impor, terutama pada sektor pertanian, perkebunan, dan industri pengolahan. Menganalisis pola perdagangan luar negeri Sumatera Utara dari sudut pandang matematis memungkinkan tidak hanya pemahaman terhadap tren data, tetapi juga membangun sistem peramalan yang dapat digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan.

Penelitian ini juga menjadi bentuk kontribusi dalam mengembangkan aplikasi matematika di bidang lain, dalam hal ini perdagangan dan ekonomi daerah. Meski demikian, fokus utama dari penelitian ini bukan pada analisis ekonomi secara mendalam, melainkan pada aspek matematis dan algoritmik dari metode Fuzzy Time Series, mulai dari penyusunan data, konstruksi model, hingga evaluasi hasil peramalan. Pada tahun 2002, Chen mengembangkan Fuzzy Time Series orde tinggi dengan memperluas tahapan penentuan Fuzzy Logic Relations (FLR), yaitu dengan melibatkan dua atau lebih data historis dalam proses peramalan. Evaluasi hasil peramalan umumnya dilakukan dengan menghitung tingkat akurasi melalui berbagai ukuran kesalahan, seperti Mean Squared Error (MSE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), dan Mean Absolute Error (MAE). Metode MSE mengevaluasi hasil peramalan dengan mengkuadratkan setiap selisih antara data aktual dan hasil ramalan. Sementara itu, MAPE dihitung dengan menggunakan nilai absolut dari kesalahan pada setiap periode, kemudian membaginya dengan nilai observasi aktual, sehingga menghasilkan persentase penyimpangan antara data nyata dengan data peramalan (Pakaja, 2012). Adapun MAE mengukur akurasi dengan menjumlahkan nilai absolut selisih antara hasil peramalan dan data aktual tanpa memperhatikan tanda positif maupun negatif (Indriyo, 2000).

Penerapan metode Fuzzy Time Series telah dilakukan oleh berbagai peneliti, salah satunya oleh Adika (2016) dalam skripsinya. Penelitian tersebut menggunakan Fuzzy Time Series untuk meramalkan data musiman (seasonal) pada jumlah omset Koperasi Mahasiswa Padang Bulan Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang periode 2010–2015. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bagaimana metode Fuzzy Time Series dapat diterapkan pada data musiman, tingkat akurasi yang dihasilkan, efektivitas metode, serta peramalan terbaik yang diperoleh. Berdasarkan penelitian tersebut, penulis dalam penelitian ini akan menggunakan data musiman sebagai objek dengan pendekatan metode yang berbeda. Penelitian - penelitian terkait metode Fuzzy Time Series Chen menunjukkan variasi tingkat akurasi berdasarkan konteks data. Pada Penelitian yang dilakukan oleh (rizalma, 2022) menguji Tiga sampel data Ekspor Indonesia (2016–2022) dan menemukan sampel pertama sebagai yang terbaik, meski tidak menyebut nilai MAPE secara Eksplisit. (adinda, 2024) meramalkan Nilai Ekspor dengan MAPE 11,45\% (kategori Baik), menunjukkan efektivitas metode Chen dalam Analisis Data BPS. Pada produksi tebu di Kabupaten Langkat, metode Chen menghasilkan MAPE 18,63\% (masuk kategori Baik) untuk prediksi tahun 2023 (Andini, 2024). Studi Komparatif Chen, Cheng, dan Singh mencatat MAPE Chen 7,2181\%, lebih tinggi dari Cheng 5,7505\% tetapi tetap relevan untuk data Trend (Monica, 2024). Sementara itu, Penerapan Chen pada harga Emas mencapai MAPE 0,605\% (kategori Sangat Baik), Membuktikan keunggulannya dalam Data Volatil

(Sofiyanti, 2024). Secara umum, akurasi metode Chen bervariasi tergantung kompleksitas data, dengan performa optimal pada data dengan fluktuasi terbatas. Dengan demikian, penelitian berjudul "Penerapan Metode Fuzzy Time Series Chen dalam peramalan Nilai Ekspor dan Impor Sumatera Utara" ini bertujuan untuk mengimplementasikan metode FTS Chen pada data riil, sekaligus mengevaluasi efektivitas model dalam menghasilkan peramalan yang akurat dan relevan. Penelitian ini diharapkan dapat memperkuat pemahaman tentang bagaimana teori fuzzy logic dan deret waktu fuzzy bekerja secara matematis, serta menunjukkan penerapannya dalam konteks dunia nyata.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif non-eksperimental dengan fokus pada analisis data runtun waktu (time series) untuk meramalkan nilai ekspor dan impor Provinsi Sumatera Utara. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari situs resmi Badan Pusat Statistik (BPS) dan terdiri dari data bulanan dalam satuan juta USD. Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah laptop untuk proses pengolahan data yang dilengkapi dengan perangkat lunak analisis seperti Microsoft Excel dan MATLAB/Python sebagai pendukung perhitungan metode Fuzzy Time Series Chen. Tidak terdapat peralatan fisik lainnya karena seluruh tahapan penelitian bersifat komputasional. Rangkaian proses penelitian ditunjukkan pada Gambar 1, yang menggambarkan alur analisis mulai dari pengambilan data, pembentukan himpunan fuzzy, penyusunan relasi logika fuzzy, hingga proses peramalan menggunakan metode Chen.

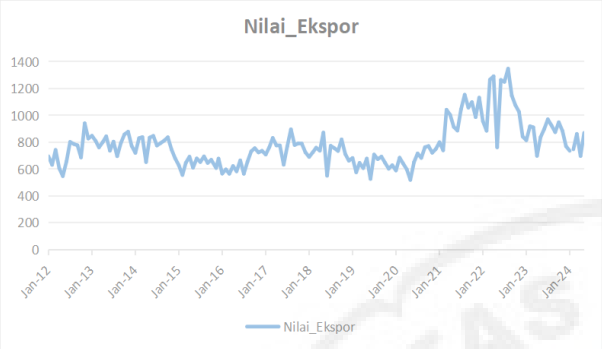


Gambar 1. Diagram Alir

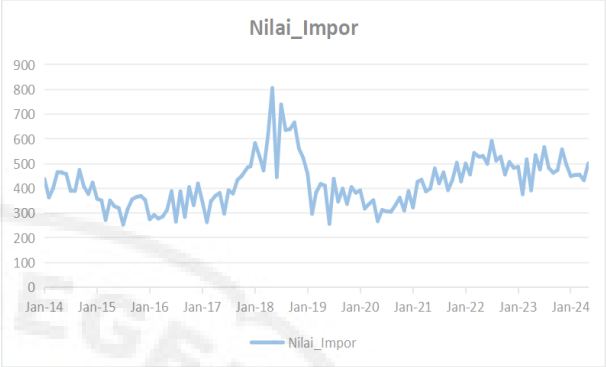
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, data yang digunakan meliputi nilai ekspor dan impor provinsi Sumatera Utara yang diperoleh dari situs resmi Badan Pusat Statistik (BPS). Data nilai ekspor yang digunakan mencakup periode Januari 2012 hingga Mei 2024 dengan total 149 data bulanan. Sementara itu, data nilai impor mencakup periode Januari 2014 hingga Mei 2024, dengan total 125 data bulanan. Pemilihan periode ini disesuaikan dengan ketersediaan data yang konsisten dan lengkap pada situs BPS. Data ekspor dan impor ini bersifat Time Series dan dinyatakan dalam satuan juta dollar Amerika Serikat (USD), yang nantinya akan dianalisis menggunakan metode Fuzzy Time Series. Penggunaan data ini

bertujuan untuk mengidentifikasi pola dan tren perdaganagan luar negeri di Provinsi Sumatera Utara serta memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai fluktuasi nilai ekspor dan impor dalam kurun waktu yang telah ditentukan.



(a)



(b)

Gambar 2. (a) Nilai Eskpor tahun 2024; (b) Nilai Impor tahun 2024

Nilai Ekspor Sumatera Utara tahun 2023 mengalami fluktuasi dari bulan ke bulan. Berdasarkan hasil Analisis Statistik Dekriptif, Nilai Ekspor memiliki rata - rata sebesar USD 21 miliar. Simpangan baku dari nilai Ekspor sebesar USD 1 Miliar, yang menunjukkan bahwa adanya variasi yang relatif sedang dalam nilai Ekspor setiap bulannya. Rentang nilai (\textit{Range}) Ekspor selama periode tersebut adalah sebesar USD 910 Juta. Sementara itu, Nilai impor Indonesia selama tahun 2023 juga menunjukkan pola yang dinamis. Rata - rata nilai impor tercatat sebesar USD 18 Miliar, dengan nilai minimum sebesar USD 519 Juta dan nilai maksimum sebesar USD 1347 Juta. Simpangan baku nilai impor adalah sebesar usd 5 miliar, yang mengindikasikan bahwa fluktuasi nilai impor sedikit lebih rendah dibandingkan ekspor. Median nilai impor berada pada angka usd 419 Juta, yang mendekati nilai rata - rata dan menunjukkan distribusi data yang relatif seimbang. Rentang nilai impor selama periode ini adalah sebesar 113,75 Juta. Hasil ini memberikan gambaran awal terhadap perilaku impor Provinsi Sumatera Utara yang dapat dianalisis lebih lanjut dalam konteks neraca perdagangan nasional.

Analisis statistika deskriptif bertujuan untuk memberikan gambaran umum mengenai karakteristik data ekspor dan impor yang di analisis (wibisana, 2023). Dalam hal ini, data yang digunakan mencakup nilai ekspor dan impor dalam satuan juta USD. Terdapat beberapa ukuran pemusatan dan penyebaran data yang dihitung, seperti nilai minimum, maksimum, rata - rata (mean), median, dan standar deviasi.

Tabel 1. Deskriptis Statistik Data

Statistik	Ekspor (juta USD)	Impor (juta USD)
Minimum	519,20	253,35
Maksimum	1.347,69	805,69
Rata-rata (Mean)	780,25	421,26
Median	755,22	480,22
Standar Deviasi	161,80	100,46

Berdasarkan hasil analisis, nilai ekspor minimum tercatat sebesar 519,2 juta USD, Sedangkan nilai maksimum mencapai 1347,69 Juta USD. Nilai rata - rata ekspor adalah 780,25 juta USD, dengan median sebesar 755,22 juta USD dan standar deviasi 161,80 juta USD. Hal ini menunjukkan bahwa data ekspor memiliki tingkat penyebaran yang ralatif tinggi, yang ditunjukkan oleh nilai standar deviasi yang cukup besar. Sementara itu, Nilai impor minimum adalah 253,35 juta USD dan maksimum sebesar 805,69 juta USD. Rata - rata Nilai impor tercatat 421,26 juta USD, Dengan nilai median sebesar 480,22 juta USD. Standar Deviasi untuk data impor sebesar 100,46 juta USD, yang menunjukkan bahwa variasi nilai impor cenderung lebih rendah dibandingkan dengan data ekspor. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data ekspor memiliki fluktuasi yang lebih besar dibandingkan impor, baik dari segi nilai maksimum dan minimum maupun penyebaran datanya. Informasi ini penting untuk memahami dinamika perdagangan yang terjadi, serta sebagai dasar dalam melakukan peramalan dan analisis lebih lanjut.

Sebelum dilakukan proses peramalan, data deret waktu dalam penelitian ini dibagi terlebih dahulu menjadi dua bagian, yaitu data training dan data testing. Tujuan dari pembagian ini adalah agar model dapat dilatih menggunakan sebagian data historis (training), dan kemudian diuji kemampuannya dalam melakukan prediksi terhadap data yang belum pernah digunakan (testing) (Han, 2012). Strategi ini penting untuk mengukur sejauh mana model mampu melakukan generalisasi terhadap pola yang belum dikenalnya. Dalam konteks deret waktu, pembagaian dilakukan secara berurutan sesuai urutan waktu agar komunitas tren, musiman, dan fluktuasi dalam data tetap terjaga. Pada penelitian ini digunakan

rasio pembagian sebesar 80 % untuk data training dan 20 % untuk data testing. Berdasarkan jumlah data yang tersedia, yaitu 149 data bulanan untuk ekspor dan 125 data bulanan untuk impor, maka sebanyak 119 data pertama ekspor digunakan sebagai data training dan 30 data terakhir sebagai data testing. Semnetara itu, untuk data impor, 100 data pertama digunakan sebagai data training dan 25 data terakhir sebagai data testing. Pembagian ini bertujuan memberikan keseimbangan antara kedalaman pembelajaran pola historis oleh model dan kemampuan model dalam memberikan prediksi yang akurat terhadap data masa depan. Data testing inilah yang akan digunakan untuk mengevaluasi performa model menggunakan ukuran kesalahan seperti MAPE (Mean Absolute Percentage Error) dan RMSE (Root Mean Square Error) guna mengukur ketepatan hasil permalan secara kuantitatif.

Dalam penerapan metode ini, terdapat beberapa tahapan analisis yang dilakukan peneliti. Tahap pertama adalah pembentukan himpunan semesta, diikuti dengan penentuan panjang interval. Selanjutnya dilakukan proses fuzzifikasi, pembentukan Fuzzy Logic Relationship (FLR) dan FLR Group, serta penentuan nilai peramalan melalui defuzzifikasi (Chen, 1996). Untuk penentuan panjang interval, salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah melalui rumus Sturges. Berikut ini dijelaskan langkah-langkah analisis metode Fuzzy Time Series model Chen dengan penentuan panjang interval menggunakan rumus Sturges. Langkah awal dalam metode Fuzzy Time Series adalah membentuk Himpunan Semesta (Universe of Discourse). Himpunan semesta ini dibuat berdasarkan data historis yang tersedia dan nantinya akan dibagi menjadi beberapa partisi dengan panjang interval yang sama. Berikut dijelaskan proses perhitungan dalam pembentukan Himpunan Semesta.

$$U = [\ D_min - D_1\ ;\ D_max + D_2\ ]$$
$$= [\ 519{,}20 - 39{,}63\ ;\ 1.153{,}36 + 39{,}63\ ]$$
$$= [\ 479\ ;\ 1.193\ ]$$

Dimana Dmin merupakan nilai dari data terendah dan Dmaks merupakan nilai dari data tertinggi. Sedangkan D_1 dan D_2 adalah bilangan konstanta yang ditentukan peneliti.

Pembentukan panjang interval dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu: pertama, menghitung jumlah interval kelas; kedua, menentukan nilai rentang (range); ketiga, menetapkan lebar interval; dan keempat, menghitung nilai tengah midpoint. Berikut dijelaskan proses perhitungan panjang interval dengan menggunakan rumus Sturges. Selanjutnya didapatkan tabel kelas interval dan nilai tengah atau midpoint yang didapatkan dari nilai batas dan batas bawah.

Tabel 2. Batas-batas setiap kelas

Jumlah Kelas	Batas Bawah	Batas Atas	Nilai Tengah (midpoint)	Rentang Nilai	Label Fuzzy
U_1	479	568,25	523,625	479,00 – 568,25	A_1
U_2	568,25	657,5	612,875	568,25 – 657,50	A_2
U_3	657,5	746,75	702,125	657,50 – 746,75	A_3
U_4	746,75	836	791,375	746,75 – 836,00	A_4
U_5	836	925,25	880,625	836,00 – 925,25	A_5
U_6	925,25	1014,5	969,875	925,25 – 1014,50	A_6
U_7	1014,5	1103,75	1059,125	1014,50 – 1103,75	A_7
U_8	1103,75	1193	1148,375	1103,75 – 1193,00	A_8

Proses Fuzzifikasi merupakan tahap awal dalam metode Fuzzy Time Series (FTS), yaitu proses mengubah data numerik (Kuantitatif) menjadi bentuk linguistik (Kualitati}). Dalam konteks ini, data numerik berupa Nilai ekspor Provinsi Sumatera Utara akan diubah ke dalam bentuk Fuzzy Set ataupun Himpunan Fuzzy yang mewakili nilai - nilai linguistik dari variabel waktu (Pasaribu, 2021). Proses ini dilakukan dengan cara mengasumsikan semesta pembicaraan (Universe of discourse), yaitu rentang nilai yang mencakup seluruh data ekspor. Semesta ini kemudian dibagi menjadi sejumlah kelas interval yang sama panjang. Dalam penelitian ini, Jumlah interval yang digunakan adalah sebanyak 8 kelas.

Sebagai ilustrasi dari proses Fuzzifikasi secara manual, berikut disajikan dua contoh perhitungan yang diambil dari data ekspor Provinsi Sumatera Utara. Pada Bulan Januari 2012, Nilai ekspor tercatat sebesar 694,640. Berdasarkan rentang interval yang telah ditentukan sebelumnya, Nilai ini berada dalam interval ke - 3, yaitu [657,5 - 746,75], Sehingga diklasifikasikan ke dalam label Fuzzy A3. Label Fuzzy ini menunjukkan bahwa nilai ekspor tersebut berada pada kategori menengah, yaitu tidak tergolong rendah, Namun juga belum mencapai kategori tertinggi dalam rentang himpunan semesta yang terbentuk. Dengan demikian, Nilai ekspor bulan tersebut mencerminkan kondisi ekspor yang relatif stabil atau cukup tinggi, Namun belum menyentuh titik puncak ekspor tertinggi sepanjang periode pelatihan data. Posisi ini juga menunjukkan bahwa ekspor sedang berada dalam fase transisi menuju level yang lebih tinggi, bila tren positif terus berlanjut. Selanjutnya, pada bulan Februari 2012, Nilai ekspor tercatat sebesar 631,1. Nilai ini berada pada interval ke -2, yaitu [568,25 - 657,5] yang berarti bahwa Nilai ekspor tersebut termasuk dalam kelompok data dengan nilai yang sedikit

lebih rendah dari bulan sebelumnya. Berdasarkan posisi nilai ini dalam himpunan semesta, maka diberikan label Fuzzy A2, yang mengindikasikan bahwa nilai tersebut berada di bawah kategori menengah.

Melalui contoh perhitungan ini, dapat dilihat bahwa proses Fuzzifikasi dilakukan dengan mencocokkan masing - masing nilai data ke dalam interval Fuzzy yang sesuai, lalu memberikan label Linguistik (Fuzzy Set) berdasarkan posisi tersebut (Al-Rasyid, 2015). Proses ini menjadi dasar penting dalam membentuk relasi logika fuzzy pada tahap selanjutnya, yang digunakan dalam pembanguanan model Fuzzy Time Series. Meskipun pada contoh ini proses dilakukan secara manual, Namun untuk keseluruhan data, proses Fuzzifikasi akan dilakukan dengan bantuan program komputer untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi perhitungan. Pembentukan *Fuzzy Logic Relationship* (FLR) dan *FLR Group* dilakukan berdasarkan data historis yang telah difuzzifikasi. Jika suatu variabel runtun waktu F(t–1) atau *Current State* difuzzifikasi menjadi A_k dan variabel F(t) atau *Next State* menjadi A_m, maka A_k memiliki hubungan dengan A_m, yang berarti A_k dapat digunakan untuk meramalkan nilai pada A_m. Hubungan ini dinyatakan dengan notasi: $\mathbf{A_k \rightarrow A_m}$ di mana A_k mewakili data saat ini dan A_m mewakili data pada periode berikutnya. Sebagai contoh, jika pada periode tertentu hasil fuzzifikasi adalah A_3 dan A_2, maka relasinya dituliskan sebagai: $\mathbf{A_3 \rightarrow A_2}$ Pada periode berikutnya, jika hasil fuzzifikasi adalah A_2 dan A_3, maka relasinya dituliskan sebagai: $\mathbf{A_2 \rightarrow A_3}$.

Setelah terbentuk *Fuzzy Logic Relationship* (FLR), langkah berikutnya adalah membentuk *Fuzzy Logic Relationship Group* (FLRG). Jika suatu *Fuzzy Set* memiliki hubungan atau dapat meramalkan lebih dari satu *Fuzzy Set*, maka hubungan-hubungan tersebut digabungkan menjadi satu kelompok. Berdasarkan tabel FLR sebelumnya, misalnya *Fuzzy Set* A_i memiliki hubungan yang dapat meramalkan A_1 dan A_2. Maka, pada FLRG, hubungan tersebut dituliskan sebagai: $\mathbf{A_i \rightarrow A_1, A_2}$. Berikut ini adalah contoh hasil lengkap pembentukan FLRG dari data sebelumnya:

Tabel 3. Hasil pembentukan FLRG

Curent State	Next State
A_1	A_2, A_1, A_4, A_3
A_2	A_3, A_1, A_4, A_2
A_3	$A_2, A_6, A_4, A_3, A_5, A_1, A_7$
A_4	A_4, A_3, A_5, A_2
A_5	$A_4, A_3, A_5, A_2, A_1, A_7$
A_6	A_4
A_7	A_7, A_5, A_8
A_8	A_7, A_6

Pembagian ini bertujuan memberikan keseimbangan antara kedalaman pembelajaran pola historis oleh model dan kemampuan model dalam memberikan prediksi yang akurat terhadap data masa depan. Data testing inilah yang akan digunakan untuk mengevaluasi performa model menggunakan ukuran kesalahan seperti MAPE (Mean Absolute Percentage Error) dan RMSE (Root Mean Square Error) guna mengukur ketepatan hasil permalan secara kuantitatif.

Dalam penerapan metode ini, terdapat beberapa tahapan analisis yang dilakukan peneliti. Tahap pertama adalah pembentukan himpunan semesta, diikuti dengan penentuan panjang interval. Selanjutnya dilakukan proses fuzzifikasi, pembentukan Fuzzy Logic Relationship (FLR) dan FLR Group, serta penentuan nilai peramalan melalui defuzzifikasi (Chen, 1996). Untuk penentuan panjang interval, salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah melalui rumus Sturges. Berikut ini dijelaskan langkah-langkah analisis metode Fuzzy Time Series model Chen dengan penentuan panjang interval menggunakan rumus Sturges. Langkah awal dalam metode Fuzzy Time Series adalah membentuk Himpunan Semesta (Universe of Discourse). Himpunan semesta ini dibuat berdasarkan data historis yang tersedia dan nantinya akan dibagi menjadi beberapa partisi dengan panjang interval yang sama. Berikut dijelaskan proses perhitungan dalam pembentukan Himpunan Semesta.

U = [D_min - D_1 ; D_max + D_2]
= [253,349 - 34,52 ; 805,69 + 34,52]
= [218,82 ; 840,21]

Dimana Dmin merupakan nilai dari data terendah dan Dmaks merupakan nilai dari data tertinggi. Sedangkan D_1 dan D_2 adalah bilangan konstanta yang ditentukan peneliti.

Pembentukan panjang interval dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu: pertama, menghitung jumlah interval kelas; kedua, menentukan nilai rentang (range); ketiga, menetapkan lebar interval; dan keempat, menghitung nilai tengah midpoint. Berikut dijelaskan proses perhitungan panjang interval dengan menggunakan rumus Sturges. Selanjutnya didapatkan tabel kelas interval dan nilai tengah atau midpoint yang didapatkan dari nilai batas dan batas bawah.

Tabel 4. Batas-batas setiap kelas

Jumlah Kelas	Batas Bawah	Batas Atas	Nilai Tengah (midpoint)	Rentang Nilai	Label Fuzzy
U_1	218,82	296,49	257,655	218,82 – 296,49	A_1
U_2	296,49	374,16	335,325	296,49 – 374,16	A_2
U_3	374,16	451,83	412,995	374,16 – 451,83	A_3
U_4	451,83	529,5	490,665	451,83 – 529,5	A_4
U_5	529,5	607,17	568,335	529,5 – 607,17	A_5
U_6	607,17	684,84	646,005	607,17 – 684,84	A_6
U_7	684,84	762,51	723,675	684,84 – 762,51	A_7
U_8	762,51	840,18	801,345	762,51 – 840,18	A_8

Proses Fuzzifikasi merupakan tahap awal dalam metode Fuzzy Time Series (FTS), yaitu proses mengubah data numerik (Kuantitatif) menjadi bentuk linguistik (Kualitatif). Dalam konteks ini, data numerik berupa Nilai ekspor Provinsi Sumatera Utara akan diubah ke dalam bentuk Fuzzy Set ataupun Himpunan Fuzzy yang mewakili nilai - nilai linguistik dari variabel waktu (Pasaribu, 2021). Proses ini dilakukan dengan cara mengasumsikan semesta pembicaraan (Universe of discourse), yaitu rentang nilai yang mencakup seluruh data ekspor. Semesta ini kemudian dibagi menjadi sejumlah kelas interval yang sama panjang. Dalam penelitian ini, Jumlah interval yang digunakan adalah sebanyak 8 kelas.

Sebagai ilustrasi dari proses fuzzifikasi secara manual, berikut disajikan dua contoh perhitungan yang diambil dari data impor Provinsi Sumatera Utara. Pada bulan Januari 2014, nilai impor tercatat sebesar 437,660. Berdasarkan rentang interval yang telah ditetapkan sebelumnya, nilai ini berada dalam interval ke - 3, yaitu rentang [374,16 - 451,83]. Oleh karena itu, nilai tersebut diklasifikasikan ke dalam label fuzzy A3. Hal ini berarti bahwa nilai impor pada bulan tersebut berada pada tingkat menengah ke atas dari keseluruhan data \textit{training }dalam himpunan semesta, mencerminkan kondisi impor yang cukup tinggi namun belum menyentuh puncak tertinggi dari rentang nilai yang tersedia. Selanjutnya, pada bulan Februari 2014, nilai impor tercatat sebesar 363,19. Nilai ini berada pada interval ke -2, yaitu [296,49 - 374,16] yang berarti bahwa nilai impor tersebut termasuk dalam kelompok data dengan nilai yang sedikit lebih rendah dari bulan sebelumnya. Berdasarkan posisi nilai ini dalam himpunan semesta, maka diberikan label fuzzy A2, yang mengindikasikan bahwa nilai tersebut berada di bawah kategori menengah.

Melalui contoh perhitungan ini, dapat dilihat bahwa proses fuzzifikasi dilakukan dengan mencocokkan masing - masing nilai data ke dalam interval fuzzy yang sesuai, lalu memberikan label linguistik (fuzzy set) berdasarkan posisi tersebut (Al-Rasyid, 2015). Proses ini menjadi dasar penting dalam membentuk relasi logika fuzzy pada tahap selanjutnya, yang digunakan dalam pembanguanan model Fuzzy Time Series. Meskipun pada contoh ini proses dilakukan secara manual, namun untuk keseluruhan data, proses fuzzifikasi akan dilakukan dengan bantuan program komputer untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi perhitungan.

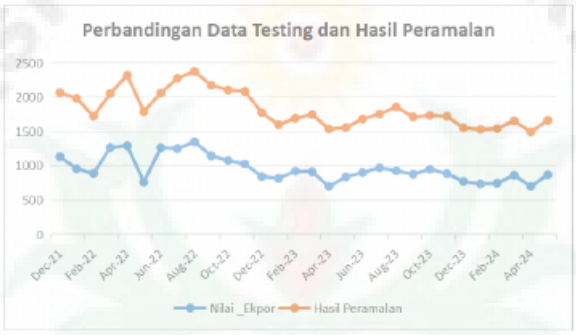
Pembentukan *Fuzzy Logic Relationship* (FLR) dan *FLR Group* dilakukan berdasarkan data historis yang telah difuzzifikasi. Jika suatu variabel runtun waktu F(t–1) atau *Current State* difuzzifikasi menjadi A_k dan variabel F(t) atau *Next State* menjadi A_m, maka A_k memiliki hubungan dengan A_m, yang berarti A_k dapat digunakan untuk meramalkan nilai pada A_m. Hubungan ini dinyatakan dengan notasi: $\mathbf{A_k \rightarrow A_m}$ di mana A_k mewakili data saat ini dan A_m mewakili data pada periode berikutnya. Sebagai contoh, jika pada periode tertentu hasil fuzzifikasi adalah A_3 dan A_2, maka relasinya dituliskan sebagai: $\mathbf{A_3 \rightarrow A_2}$ Pada periode berikutnya, jika hasil fuzzifikasi adalah A_2 dan A_3, maka relasinya dituliskan sebagai: $\mathbf{A_2 \rightarrow A_3}$.

Setelah terbentuk *Fuzzy Logic Relationship* (FLR), langkah berikutnya adalah membentuk *Fuzzy Logic Relationship Group* (FLRG). Jika suatu *Fuzzy Set* memiliki hubungan atau dapat meramalkan lebih dari satu *Fuzzy Set*, maka hubungan-hubungan tersebut digabungkan menjadi satu kelompok. Berdasarkan tabel FLR sebelumnya, misalnya *Fuzzy Set* A_i memiliki hubungan yang dapat meramalkan A_1 dan A_2. Maka, pada FLRG, hubungan tersebut dituliskan sebagai: $\mathbf{A_i \rightarrow A_1, A_2}$. Berikut ini adalah contoh hasil lengkap pembentukan FLRG dari data sebelumnya:

Tabel 5. Hasil Pembentukkan FLRG

Curent State	Next State
A_1	A_2, A_1, A_3
A_2	A_3, A_1, A_4, A_2
A_3	$A_2, A_8, A_4, A_3, A_5, A_1$
A_4	A_4, A_3, A_5, A_6
A_5	A_4, A_5
A_6	A_5, A_6, A_8
A_7	-
A_8	A_3, A_6

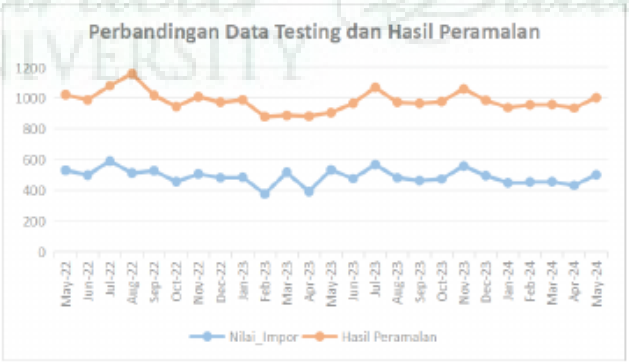
Setelah model Fuzzy Time Series Chen dibangun menggunakan Data Training, tahap selanjutnya adalah melakukan peramalan terhadap Data Testing. Dalam konteks ini, Data Testing merupakan data aktual yang tidak digunakan dalam proses pelatihan model, sehingga hasil peramalan terhadap data ini dapat memberikan gambaran objektif mengenai akurasi model yang dikembangkan (Han, 2012). Peramalan dilakukan dengan memanfaatkan relasi Fuzzy yang telah disusun sebelumnya. Setiap data pada bulan tertentu terlebih dahulu dipetakan ke dalam himpunan Fuzzy yang sesuai, kemudian dicari relasi Fuzzy (FLR) yang relevan berdasarkan data bulan sebelumnya. Prediksi nilai pada bulan tersebut dihitung menggunakan nilai tengah dari interval Fuzzy yang sesuai dengan relasi yang ditemukan. Sebagai ilustrasi, misalnya nilai Ekspor pada bulan tertentu sebesar 1131,61 yang berada dalam interval ketiga, sehingga diberi label Fuzzy A3. Sementara itu, nilai pada bulan sebelumnya, yaitu 956,41 berada pada Fuzzy set A2. Maka, berdasarkan relasi FLRG yang telah terbentuk dari data Training, akan dicari aturan FLRG dari A2 dan digunakan untuk menentukan nilai peramalan pada bulan tersebut. Hasil peramalan dari proses ini diperoleh sebesar 931,404 yang nerupakan nilai tengah dari inerval yang sesuai dengan hasil FLRG dari A2. Perbandingan antara nilai aktual dan hasil peramalan juga dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik sebagai berikut :



Gambar 3. Perbandingan Data Testing dan Peramalan

Setelah membangun model Fuzzy Time Series Chen berdasarkan Data Training nilai impor, maka langkah selanjutnya adalah menguji kinerja model dengan melakukan peramalan terhadap data Testing. Tujuan dari proses ini adalah untuk melihat sejauh mana model yang telah dikembangkan mampu memprediksi nilai - nilai aktual yang belum pernah dilibatkan dalam proses pelatihan (Han, 2012). Proses peramalan dimulai dengan mengidentifikasi label Fuzzy dari sebelumnya pada data Testing, lalu menentukan hasil peramalan berdasarkan FLRG (Fuzzy Logical Relationship Group) yang telah dibentuk selama tahap pelatihan. Nilai peramalan yang dihasilkan merupakan nilai tengah dari interval yang sesuai dengan hasil relasi fuzzy tersebut.

Sebagai ilustrasi, misalnya nilai impor pada bulan tertentu sebesar 531,63, yang berada dalam interval ketiga sehingga diberi label fuzzy A3. Maka, berdasarkan relasi FLRG yang telah terbentuk dari data training, akan dicari aturan FLRG dari A3 dan digunakan untuk menentukan nilai peramalan pada bulan tersebut. Hasil peramalan dari proses ini diperoleh 490,066571 yang merupakan nilai tengah dari interval yang sesuai dengan hasil FLRG dari A3. Perbandingan antara nilai aktual dan hasil peramalan juga dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik (gambar 4). data ekspor dan impor berdasarkan dua metrik: MAPE (13,76% untuk ekspor dan 11,18% untuk impor) dan MSE (33.120,75 untuk ekspor dan 5.103,99 untuk impor). Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa prediksi untuk data impor lebih akurat dibandingkan dengan data ekspor, baik dilihat dari tingkat kesalahan relatif (MAPE) maupun kesalahan kuadrat rata-rata (MSE).



Gambar 4. Perbandingan Data Testing dan Peramalan

KESIMPULAN

Hasil peramalan menunjukkan bahwa metode Fuzzy Time Series Chen mampu memberikan nilai prediksi ekspor dan impor Provinsi Sumatera Utara yang cukup representatif berdasarkan data historis yang tersedia. Metode ini diterapkan melalui beberapa tahapan, dimulai dari pembentukan himpunan fuzzy, penentuan relasi logika fuzzy, hingga menghasilkan nilai prediksi berdasarkan pola hubungan antar periode. Proses peramalan diawali dengan tahap fuzzifikasi, yaitu memetakan data aktual Xt ke dalam interval U yang telah ditentukan sebelumnya. Setiap interval diberi label sebagai himpunan fuzzy Ai dengan fungsi keanggotaan tertentu, sehingga apabila suatu nilai berada pada interval uj maka nilai tersebut direpresentasikan sebagai Aj. Selanjutnya dibentuk Fuzzy Logical Relationship (FLR), yaitu ketika pada periode ke-t data difuzzifikasi menjadi Ai dan pada periode ke-(t+1) menjadi Aj, sehingga terbentuk relasi Ai → Aj. Seluruh relasi dengan premis yang sama kemudian digabungkan ke dalam Fuzzy Logical Relationship Group (FLRG) untuk mengidentifikasi pola perubahan data secara lebih sistematis.

Tahap akhir adalah defuzzifikasi, yaitu menentukan hasil peramalan berdasarkan titik tengah interval dari himpunan fuzzy konsekuen. Jika sebuah relasi memiliki satu konsekuen, maka nilai ramalan ditentukan oleh titik tengah interval tersebut. Namun apabila sebuah premis memiliki lebih dari satu konsekuen, maka ramalan dihitung sebagai rata-rata titik tengah dari seluruh interval konsekuen pada FLRG tersebut. Secara keseluruhan, hasil peramalan menunjukkan bahwa metode Fuzzy Time Series Chen mampu mengikuti pola tren data aktual dengan cukup baik. Hal ini ditunjukkan oleh nilai akurasi Mean Absolute Percentage Error (MAPE) pada data ekspor sebesar 13,76% dan pada data impor sebesar 11,18%. Selain itu, nilai Mean Squared Error (MSE) yang dihasilkan juga relatif kecil, yaitu 33.120,75 untuk ekspor dan 5.103,99 untuk impor. Berdasarkan hasil tersebut, metode Fuzzy Time Series Chen dapat dinyatakan layak dan efektif digunakan dalam memprediksi pergerakan ekspor dan impor Provinsi Sumatera Utara.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, F. (2020). Penentuan metode peramalan pada produksi part new granada bowl st di pt. x. *JISI: Jurnal Integrasi Sistem Industri*, 7(1):31–39.

Al-Rasyid, N. K., Adiwijaya, and Permanasari, A. E. (2015). Implementasi fuzzy time series untuk memprediksi tingkat inflasi di indonesia. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan (JITTER)*, 1(2).

Andini, A. P. and Muliani, F. (2024). Fuzzy time series chen untuk forecasting hasil produksi tebu di kabupaten langkat. *Jurnal Sains Matematika dan Statis- tika*, 10:47.

Benny, J., Ekonomi, F., Bisnis, D., Pembangunan, J. E., Sam, U., and Manado,
R. (2013). Ekspor dan impor pengaruhnya terhadap posisi cadangan devisa di indonesia. *1406 Jurnal EMBA*, 1:1406–1415.

Chen, S. M. (1996). Forecasting enrollments based on fuzzy time series. *Fuzzy Sets and Systems*, 81(3):311–319.

Eha, E. D. and Suwanda (2023). Pemodelan fuzzy time series cheng untuk mera- malkan nilai ekspor migas di indonesia. *Bandung Conference Series: Statistics*, 3:130–139.

Fauzi, M. A., Adinugroho, S., and Puspitasari, N. W. (2018). Peramalan harga saham pt. telekomunikasi indonesia dengan metode fuzzy time series. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 2(11):5548–5554.

Han, J., Kamber, M., and Pei, J. (2012). *Data Mining: Concepts and Techniques*. Morgan Kaufmann Publishers, Waltham, Massachusetts, 3rd edition.

Heizer, J. and Render, B. (2014). *Manajemen Operasi: Manajemen Keberlang- sungan dan Rantai Pasokan*. Salemba Empat, Jakarta, 11 edition.

Indriyo, G. and Najmudin, M. (2000). *Ramalan Metode Rata-Rata Bergerak Berganda*. BPFE.

Monica, D. and Suhaedi, D. (2024). Analisis model fuzzy time series chen, cheng dan singh pada data trend. *Jurnal Riset Matematika*, pages 81–92.

Muhajir, M. et al. (2020). Analisis forecasting harga saham pt. bank central asia tbk (bbca) menggunakan model cheng pada metode fuzzy time series (studi kasus: Harga saham pt. bank central asia tbk (bbca) periode 1 juli 2019–31 de- sember 2019).Pasaribu, G. and Siahaan, A. P. U. (2021). Peramalan nilai ekspor provinsi sumat- era utara menggunakan metode fuzzy time series cheng. *Jurnal Sistem Kom- puter dan Informatika (JSON)*, 3(1):80–86.

Rizalma, A. K. et al. (2022). Metode fuzzy time series model chen untuk pera- malan nilai ekspor di indonesia.

Sensuse, D. I. and Santosa, R. G. (2010). Peramalan produksi padi di provinsi x dengan metode fuzzy time series. *Jurnal Sistem Informasi*, 5(1):47–55.

Sofiyanti, E. N., Ulinuha, S., Okiyanto, R., Haris, M. A., and Wasono, R. (2024). Peramalan harga emas menggunakan metode fuzzy time series chen dalam in- vestasi untuk meminimalisir risko. Technical report.

Song, Q. and Chissom, B. S. (1993). Fuzzy time series and its models. *Fuzzy Sets and Systems*, 54:269–277.

Sukarni, A. I. (2024). Peramalan nilai ekspor di indonesia dengan menggunakan fuzzy time series model chen

Synaptic (2006). Part i the theory: Fuzzy math. *Scholarpedia*, 1.

Todaro, M. P. and Smith, S. P. (2006). *Pembangunan Ekonomi*. Pearson Education Limited dan Erlangga, edisi kesembilan edition.

Tutupoho, A., Laitupa, A. A., and Duwila, U. (2024). Analisis peramalan pertum- buhan ekonomi di provinsi maluku dengan metode arima. *Management Studies and Entrepreneurship Journal (MSEJ)*, 5:6187–6195.

Utami, D. P. and Tanaem, A. L. (2013). Sistem peramalan produksi kelapa sawit menggunakan metode fuzzy time series. *Jurnal Sistem Informasi Bisnis*, 1:38– 44.

Wibisana, R. R. F., Artamevia, D. Z., Garyalisni, K. A., and Sitepu, S. I. R. (2023). Analisis rasio perdagangan ekspor impor indonesia dan thailand periode 2019- 2021. *Investama: Jurnal Ekonomi dan Bisnis*, 9(1):67–76.