

**PERBANDINGAN METODE *FUZZY TIME SERIES* SINGH DAN  
*FUZZY TIME SERIES* MARKOV CHAIN PADA PERAMALAN  
HARGA GABAH KERING PANEN (GKP)**

**(SKRIPSI)**

**Oleh  
AULIA DIAH AFRISANTI**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2024**

## **ABSTRACT**

### **THE COMPARISON METHOD OF FUZZY TIME SERIES SINGH AND FUZZY TIME SERIES MARKOV CHAIN ON FORECASTING PRICE OF HARVESTED DRY GRAIN**

**By**

**AULIA DIAH AFRISANTI**

In the realm of commodity markets, grain is an important point because a high transaction amount of paddy is usually in the form of grain, therefore, price stability and grain availability will directly affect rice production and affect food and agricultural decisions. This research purpose is to compare the Fuzzy Time Series Singh method with the Fuzzy Time Series Markov Chain method for forecasting harvested dry grain price data in Indonesia for the period January 2019 to December 2023. The forecasting accuracy of the FTS Singh method was found to have a MAPE value of 1,791% and MAE of 89,332. Meanwhile, the FTS Markov Chain method has a MAPE value of 2,170158% and MAE of 108,5265, so it is concluded that the FTS Singh method is better in forecasting GKP price.

**Keywords:** Fuzzy Time Series Singh, Fuzzy Time Series Markov Chain, Harvested Dry Grain

## ABSTRAK

### PERBANDINGAN METODE *FUZZY TIME SERIES* SINGH DAN *FUZZY TIME SERIES* MARKOV CHAIN PADA PERAMALAN HARGA GABAH KERING PANEN (GKP)

Oleh

**AULIA DIAH AFRISANTI**

Dalam ranah perdagangan komoditas, gabah menjadi poin kunci karena transaksi padi dalam jumlah besar biasanya dilakukan dalam bentuk gabah, oleh karena itu stabilitas harga dan ketersediaan gabah akan secara langsung memengaruhi produksi beras dan berdampak pada kebijakan pangan dan pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan metode *Fuzzy Time Series* Singh dengan metode *Fuzzy Time Series* Markov Chain guna peramalan harga Gabah Kering Panen (GKP) di Indonesia periode Januari 2019 hingga Desember 2023. Perolehan akurasi peramalan metode FTS Singh diperoleh nilai MAPE sebesar 1,791% dan MAE sebesar 89,332, sedangkan dengan metode FTS Markov Chain diperoleh nilai MAPE sebesar 2,170158% dan MAE sebesar 108,5265. Dari hasil yang diperoleh disimpulkan bahwa metode FTS Singh lebih baik dalam peramalan data Harga Gabah Kering Panen (GKP).

**Kata Kunci:** *Fuzzy Time Series Singh*, *Fuzzy Time Series Markov Chain*, Harga Gabah Kering Panen (GKP)

**PERBANDINGAN METODE *FUZZY TIME SERIES* SINGH DAN  
*FUZZY TIME SERIES* MARKOV CHAIN PADA PERAMALAN  
HARGA GABAH KERING PANEN (GKP)**

Oleh

**AULIA DIAH AFRISANTI  
2017031091**

**Skripsi**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
**SARJANA MATEMATIKA**

Pada

Jurusan Matematika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Lampung



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

**Judul Skripsi : PERBANDINGAN METODE FUZZY TIME SERIES SINGH DAN FUZZY TIME SERIES MARKOV CHAIN PADA PERAMALAN HARGA GABAH KERING PANEN (GKP)**

**Nama Mahasiswa : Aulia Diah Afrisanti**

**Nomor Pokok Mahasiswa : 2017031091**

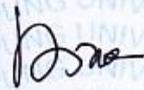
**Jurusan : Matematika**

**Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

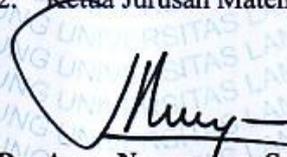


**1. Komisi Pembimbing**

  
**Widiarti, S.Si., M.Si.**  
NIP. 19800502 200501 2 003

  
**Dina Eka Nurvazly, S.Pd., M.Si.**  
NIP. 19931106 201903 2 018

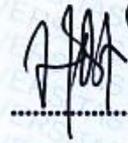
**2. Ketua Jurusan Matematika**

  
**Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si.**  
NIP. 19740316 200501 1 001

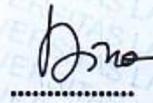
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

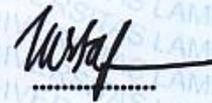
**Ketua : Widiarti, S.Si., M.Si.**



**Sekretaris : Dina Eka Nurvazly, S.Pd., M.Si.**



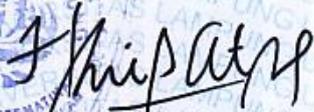
**Penguji  
Bukan Pembimbing : Prof. Drs. Mustofa Usman,  
M.A., Ph.D.**



**2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Lampung**



**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**  
NIP. 19711001 200501 1 002



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 08 Juli 2024**

## PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Aulia Diah Afrisanti**  
Nomor Pokok Mahasiswa : **2017031091**  
Jurusan : **Matematika**  
Judul Skripsi : **PERBANDINGAN METODE *FUZZY TIME SERIES* SINGH DAN *FUZZY TIME SERIES* MARKOV CHAIN PADA PERAMALAN HARGA GABAH KERING PANEN (GKP)**

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 08 Juli 2024

Penulis,



**Aulia Diah Afrisanti**  
**NPM. 2017031091**

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis bernama lengkap Aulia Diah Afrisanti, lahir di Ngawi, 20 April 2002. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Bapak Teguh Santoso dan Ibu Umiyati.

Penulis mengawali pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Dharma Wanita Keraskulon 1 pada tahun 2006-2008 dan menempuh pendidikan dasar kelas 1 sampai kelas 3 di SDN Keraskulon 1 pada tahun 2008-2011 dan kelas 4 sampai kelas 6 di SDN Gembor 4 pada tahun 2011-2014. Kemudian penulis melanjutkan jenjang pendidikannya di SMPN 12 Kota Tangerang pada tahun 2014-2017 dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 11 Kota Tangerang pada tahun 2017-2020. Setelah itu penulis diterima sebagai mahasiswi Program Studi S1 Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) pada tahun 2020.

Pada bulan Januari-Februari 2023 penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Kantor Badan Pusat Statistika RI (BPS RI) di Kecamatan Sawah Besar, Kota Jakarta Pusat, DKI Jakarta. Pada bulan Juni-Agustus 2023 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Timbul Rejo, Kecamatan Bangun Rejo, Kabupaten Lampung Tengah, Lampung. Kemudian pada bulan Agustus-Desember 2023 penulis mengikuti program kegiatan RevoU Tech Academy Data & Software Engineering yang merupakan bagian dari Studi Independen Bersertifikat (SIB) Kampus Merdeka bersama PT Revolusi Cita Edukasi (RevoU).

## **KATA INSPIRASI**

***“Hai orang-orang yang beriman, mintalah pertolongan dengan sabar dan shalat. Sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar”***

(Q.S Al-Baqarah: 153)

***“Tidak masalah seberapa lambatnya kamu berjalan asalkan kamu tidak berhenti”***

(Confucius)

***“Tetapkan tujuan, tantang diri anda dan capai tujuan tersebut. Hiduplah dengan sehat dan hitunglah setiap waktu yang anda miliki. Bangkitlah mengatasi rintangan dan fokus pada yang positif”***

(Robbert H. Goddard)

## **PERSEMBAHAN**

Alhamdulillahirabbil'alamin,

Puji syukur senantiasa kita panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Dengan mengharap rahmat dan keridhaan Allah SWT.

Saya persembahkan karya ini kepada:

### **Kedua Orang Tua Tercinta:**

Terima kasih untuk ayah Teguh Santoso dan ibu Umiyati atas segala pengorbanan, kesabaran, kasih sayang, nasihat dan doa baik yang tidak pernah berhenti yang ayah dan ibu berikan kepada saya. Terima kasih sebesar-besarnya untuk ayah dan ibu yang selama ini telah bekerja keras serta melakukan apa saja demi mewujudkan cita-cita saya, dan terima kasih sudah menjadi orang tua terbaik yang selalu ada untuk saya.

### **Seluruh Keluarga Tercinta:**

Terima kasih untuk adik saya tercinta Daffila Dhiya Azzahra yang selalu memeberikan semangat dan doanya. Terima kasih untuk mbah Suyadi, mbah Suyati, mbah Darni, mbah Kusdi dan seluruh keluarga besar yang selalu mendoakan serta memberi semangat dan motivasi kepada saya.

### **Dosen Pembimbing dan Penguji:**

Terima kasih atas semua bimbingan, arahan, dan ilmu yang telah diberikan.

## SANWACANA

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan limpahan rahamat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Perbandingan Metode *Fuzzy Time Series* Singh dan *Fuzzy Time Series* Markov Chain pada Peramalan Harga Gabah Kering Panen (GKP)”.

Terselesaikannya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Widiarti, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing I yang telah dengan penuh kesabaran membimbing, memotivasi, serta memberikan arahan, ide, saran, dan kritik, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan tepat waktu.
2. Ibu Dina Eka Nurvazly, S.Pd., M.Si. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan dukungan, arahan, masukan, dan waktunya untuk membantu dalam proses penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Drs. Mustofa Usman, M.A., Ph.D. selaku dosen pembahas atas kesediannya untuk memberikan evaluasi, arahan, masukan, kritik, dan saran yang sangat membantu dalam proses penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Ahmad Faisol, S.Si., M.Sc. dan Bapak Drs. Eri Setiawan, M.Si. selaku dosen pembimbing akademik yang senantiasa memberikan motivasi dan membimbing selama menjalani perkuliahan.
5. Bapak Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Matematika FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
7. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM. selaku Rektor Universitas Lampung.

8. Seluruh Dosen, staf, dan karyawan Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
9. Ayah Teguh, Ibu Umi, Adik Daffila, Mbah Suyadi, Mbah Suyati, Mbah Darni, Mbah Kusdi dan seluruh keluarga besar yang tercinta, terima kasih atas motivasi, semangat, ajaran, arahan, dukungan, cinta dan kasih sayang serta doa yang senantiasa diberikan.
10. Para sahabat tersayang, Nunu, Defina, Intan, Nanda, Harum, Deta, yang selalu memberikan dukungan dan canda tawa selama proses perkuliahan serta menemani selama pengerjaan skripsi ini.
11. Para Sahabat SMP dan SMA tercinta yang selalu memberi motivasi, semangat dan doanya.
12. Teman-teman satu bimbingan Bu Widiarti yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam pengerjaan skripsi ini.
13. Teman-teman Jurusan Matematika Angkatan 2020.
14. Almamater tercinta Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak.

Bandar Lampung, 08 Juli 2024  
Penulis,

**Aulia Diah Afrisanti**  
**NPM. 2017031091**

## DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Peramalan.....	5
2.2 Deret Waktu.....	5
2.3 Logika <i>Fuzzy</i> .....	7
2.4 <i>Fuzzy Time Series</i> .....	10
2.5 Fuzzifikasi.....	10
2.6 Defuzzifikasi.....	11
2.7 <i>Fuzzy Time Series</i> Singh.....	11
2.8 <i>Fuzzy Time Series</i> Markov Chain.....	15
2.9 Pengukuran Akurasi Metode Peramalan.....	19
2.10 Gabah Kering Panen (GKP).....	21
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	22
3.2 Data Penelitian.....	22
3.3 Metode Penelitian.....	22
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Menetapkan Himpunan Semesta ( $U$ ) dari Data GKP.....	25
4.2 Pembentukan Interval dari Himpunan Semesta ( $U$ ).....	26

4.3	Mendefinisikan Himpunan <i>Fuzzy</i> dan Fuzzifikasi dari Data GKP .....	27
4.4	Membentuk <i>Fuzzy Logical Relationship</i> (FLR) dari Fuzzifikasi Data GKP .....	28
4.5	Membentuk <i>Fuzzy Logical Relationship Group</i> (FLRG) Berdasarkan Hasil FLR.....	29
4.6	Peramalan Metode <i>Fuzzy Time Series</i> Singh.....	30
4.7	Peramalan Metode <i>Fuzzy Time Series</i> Markov Chain .....	34
4.8	Akurasi Metode Peramalan FTS Singh dan FTS Markov Chain .....	39
V.	KESIMPULAN .....	41
	DAFTAR PUSTAKA .....	42
	LAMPIRAN.....	45

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Interval Kelas dari Himpunan Semesta ( $U$ ) .....	27
2. Fuzzifikasi Data GKP Januari 2019 hingga Desember 2023 .....	28
3. FLR Data GKP Januari 2019 hingga Desember 2023 .....	29
4. FLRG Data GKP Januari 2019 hingga Desember 2023 .....	30
5. Perolehan Prediksi GKP dengan Metode FTS Singh.....	32
6. Prediksi Awal Metode FTS Markov Chain.....	35
7. Hasil Penyesuaian Prediksi Metode FTS Markov Chain.....	36
8. Hasil Peramalan Akhir Metode FTS Markov Chain .....	37
9. Akurasi Metode Peramalan FTS Singh dan FTS Markov Chain.....	39

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram Alur Penelitian .....	24
2. Grafik Perbandingan Data Prediksi FTS Singh dengan Data Aktual .....	33
3. Grafik Perbandingan Data Prediksi FTS Markov Chain dengan Data Aktual.....	38
4. Grafik Perbandingan Data Prediksi FTS Singh serta Data Prediksi FTS Markov Chain dengan Data Aktual .....	40

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang dan Masalah

Di dalam berbagai bidang seperti teknologi, bisnis, serta ekonomi, peramalan ialah teknik yang sangat penting, dengan menggunakan data historis ataupun data masa lampau, peramalan memungkinkan kita untuk memprediksi nilai ataupun peristiwa di masa depan, memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kebutuhan mendatang. Oleh karena itu peramalan dilakukan karena terdapat kebutuhan pada masa mendatang dengan peristiwa itu sendiri dalam jangka waktu tertentu (Muhammad, dkk., 2021). Analisis deret waktu yaitu metode peramalan yang paling umum digunakan, metode ini memakai data deret waktu sebagai dasar. Metode *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average* (SARIMA), fungsi transfer, *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) merupakan sejumlah metode analisis deret waktu yang populer. Meskipun metode tersebut merupakan metode terbaik di dalam banyak kasus tetapi terdapat sejumlah kelemahannya. Untuk memperoleh peramalan yang akurat, metode-metode ini membutuhkan pemenuhan asumsi-asumsi tertentu serta membutuhkan sejumlah besar data historis. Salah satu metode yang tidak memerlukan asumsi-asumsi yang harus dipenuhi dan tidak memerlukan banyak data historis adalah metode *fuzzy time series* (Wang, et.al., 2015).

Dengan menggunakan logika *fuzzy* sebagai dasar pemodelan, metode peramalan *fuzzy time series* memakai pola dari data masa lampau untuk peramalan data yang akan datang. Lotfi A. Zadeh pertama kali mempergunakan logika *fuzzy* tahun 1965 dalam bukunya yang membahas teori himpunan *fuzzy*. Dengan menggunakan

logika *fuzzy*, *fuzzy time series* mampu menangani ketidakpastian dan menghasilkan prediksi yang lebih fleksibel dan adaptif terhadap pola data. Logika *fuzzy* sendiri merupakan metodologi perhitungan yang menggunakan variabel kata-kata (*linguistic variables*) sebagai pengganti bilangan, agar memungkinkan perubahan pernyataan linguistik menjadi numerik serta sebaliknya (Naba, 2009).

Beberapa ahli telah mengembangkan metode *fuzzy time series* yang bertujuan menyederhanakan tahapan peramalan, antara lain metode FTS Singh dan metode FTS Markov Chain. Shiva Raj Singh mengembangkan metode *fuzzy time series* pada tahun 2007 dikenal sebagai metode *fuzzy time series* Singh, menggunakan algoritma sederhana Singh menemukan proses defuzzifikasi yang tepat serta mengurangi kerumitan perhitungan matriks relasional *fuzzy* (Singh, 2007). Sementara itu, Tsaur pertama kali mengusulkan metode FTS Markov Chain di dalam penelitiannya guna memeriksa keakuratan prediksi kurs mata uang Taiwan terhadap dolar US. Penelitian Tsaur memperlihatkan bahwa penggabungan *fuzzy time series* dengan rantai markov bisa meningkatkan keakuratan peramalan. Dalam penelitiannya Tsaur menggabungkan metode *fuzzy time series* dengan rantai markov, dengan menggabungkan kedua metode tersebut, Tsaur berusaha untuk memperoleh probabilitas terbesar dengan mempergunakan matriks probabilitas transisi. (Tsaur, 2012).

Peramalan menggunakan *fuzzy time series* bisa diterapkan pada berbagai bidang salah satunya dalam peramalan harga Gabah Kering Panen (GKP), karena *fuzzy time series* dapat menangani ketidakpastian, kompleksitas, dan fluktuasi (perubahan yang terjadi secara berulang) yang sering terjadi di dalam data harga GKP. Hal ini penting lantaran harga gabah bisa dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kondisi cuaca, musim panen, serta kebijakan pemerintah. Dengan menggunakan metode *fuzzy time series*, para peneliti serta pembuat kebijakan bisa memperoleh wawasan yang lebih jelas mengenai dinamika harga gabah serta dapat mengambil keputusan yang lebih tepat. Pemerintah juga bisa merancang kebijakan yang lebih efektif guna menjaga stabilitas harga serta ketersediaan gabah yang pada akhirnya akan mendukung ketahanan pangan nasional. Seperti yang diketahui,

beras memegang peranan krusial sebagai komoditas strategis bagi pemerintah Indonesia. Itulah sebabnya, mengelola harga serta ketersediaan gabah menjadi sangat penting guna memastikan stabilitas pasokan serta harga beras di pasaran. Gabah, sebagai tahap awal dalam pengolahan padi sebelum menjadi beras, memiliki peran yang sangat menentukan dalam menentukan volume dan kualitas akhir dari beras yang dihasilkan. Dalam ranah perdagangan komoditas, gabah menjadi poin kunci karena transaksi padi dalam jumlah besar biasanya dilakukan dalam bentuk gabah, oleh karena itu stabilitas harga dan ketersediaan gabah akan secara langsung memengaruhi produksi beras dan berdampak pada kebijakan pangan dan pertanian (Kusumawardhani & Octavia, 2023).

Nurfazriani & Hamzah (2022) melakukan penelitian tentang metode *fuzzy time series* chen serta metode *fuzzy time series* markov chain guna peramalan data inflasi di Indonesia, disimpulkan bahwasanya metode *fuzzy time series* markov chain menunjukkan hasil terbaik. Kelana, *et.al* (2023) membandingkan metode *fuzzy time series* chen serta singh terhadap peramalan data NTP di Indonesia, kesimpulannya ialah metode *fuzzy time series* singh menunjukkan perolehan hasil terbaik. Khaira, *et.al* (2023) melakukan penelitian tentang peramalan harga bawang merah di Provinsi Sumatera Barat memakai metode *fuzzy time series* singh serta *fuzzy time series* cheng, diperoleh kesimpulan bahwa metode *fuzzy time series* singh menunjukkan hasil terbaik. Sari, dkk (2023) melakukan penelitian tentang membandingkan *fuzzy time series* model chen, model lee, serta model singh dalam produksi tomat di Nusa Tenggara Barat, diperoleh kesimpulan bahwa metode *fuzzy time series* singh menunjukkan hasil terbaik. Devianto, *et.al* (2022) melakukan pemodelan *time series* harga gas alam masa depan dengan *fuzzy time series* model chen, model lee, serta model tsaur, diperoleh kesimpulan *fuzzy time series* tsaur menunjukkan perolehan hasil terbaik.

Atas dasar uraian di atas penulis tertarik dalam melakukan penelitian terkait perbandingan metode *fuzzy time series* singh dengan metode *fuzzy time series* markov chain untuk meramalkan harga Gabah Kering Panen (GKP) di Indonesia.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan hasil peramalan harga Gabah Kering Panen (GKP) di Indonesia memakai metode *fuzzy time series* singh serta metode *fuzzy time series* markov chain.
2. Melakukan perbandingan akurasi perolehan hasil peramalan pada data harga Gabah Kering Panen (GKP) di Indonesia dengan metode *fuzzy time series* singh serta metode *fuzzy time series* markov chain.

## 1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah wawasan pengetahuan tentang metode *fuzzy time series* singh serta metode *fuzzy time series* markov chain.
2. Memperoleh hasil peramalan harga Gabah Kering Panen (GKP) di Indonesia memakai metode *fuzzy time series* singh serta metode *fuzzy time series* markov chain.
3. Sebagai bahan referensi untuk peneliti berikutnya tentang metode *fuzzy time series* singh serta metode *fuzzy time series* markov chain dalam memprediksi harga Gabah Kering Panen (GKP) di Indonesia.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Peramalan

Peramalan memperkirakan nilai pada masa yang akan datang dengan menggunakan data masa kini serta masa lalu. Ini dilakukan dengan mempertimbangkan variabel peramalan, yang merupakan data *time series* historis. Variabel ini diperoleh melalui penyusunan data dari masa lalu serta menempatkannya ke masa yang akan datang memakai model matematis tertentu. Peramalan dilakukan guna memprediksi perubahan yang akan terjadi serta menghadapi keadaan yang tidak pasti. Peramalan digunakan dalam berbagai bidang guna mengantisipasi kebutuhan masa depan. Peramalan juga merupakan sebuah proses untuk memperkirakan beberapa kebutuhan masa datang, ini mencakup kebutuhan dalam ukuran, kualitas, waktu, serta tempat yang diperlukan guna memenuhi permintaan barang serta jasa (Arman, 2006).

### 2.2 Deret Waktu

Deret waktu (*Time Series*) adalah serangkaian pengamatan terhadap suatu variabel yang diambil dari waktu ke waktu serta dicatat secara berurutan berdasarkan urutan kejadiannya dengan interval waktu yang tetap (Wei, 2006). Data deret waktu bisa dijadikan untuk dasar pembuatan keputusan saat ini, peramalan untuk masa yang akan datang, dan perencanaan kegiatan pada masa depan. Analisis *time series* ialah metode peramalan kuantitatif yang dipergunakan untuk mengidentifikasi pola data

pada masa lalu serta selanjutnya dihimpun di dalam satu urutan waktu, dikenal sebagai data *time series*. Pola data pada data deret waktu dikelompokkan menjadi empat jenis yaitu (Cryer & Chan, 2008):

1. Pola horisontal ialah pola yang terjadi ketika data bergerak di sekitar nilai rata-rata yang konstan, memperlihatkan fluktuasi yang tidak memperlihatkan arah tren tertentu. Fluktuasi ini bisa berupa kenaikan ataupun penurunan di dalam data yang terjadi secara acak ataupun lantaran pengaruh berbagai faktor, namun secara keseluruhan tetap di sekitar nilai rata-rata. Pola ini mencerminkan stabilitas relatif di dalam data, di mana nilai tidak terlalu menyimpang pada rata-rata dalam jangka waktu tertentu.
2. Pola musiman adalah pola yang terjadi seandainya deret waktu dipengaruhi oleh faktor musiman, seperti perubahan cuaca, liburan, ataupun kebiasaan tahunan tertentu. Pola musiman memperlihatkan variasi yang berulang pada interval waktu yang tetap, misalnya bulanan, kuartalan, ataupun tahunan. Pola ini mencerminkan adanya komponen periodik yang terjadi secara teratur lantaran pengaruh musim, agar memudahkan prediksi perubahan data pada periode yang sama di masa depan.
3. Pola siklis adalah pola yang memperlihatkan tersedianya perulangan ataupun siklus tertentu di dalam data seiring waktu. Pola siklis mencerminkan tren ataupun perubahan periodik yang berulang pada interval waktu yang tidak selalu tetap, namun bisa diidentifikasi dengan jelas melalui analisis jangka panjang. Fluktuasi di dalam pola ini bisa disebabkan oleh berbagai faktor ekonomi, bisnis, ataupun sosial yang memengaruhi data secara berkala, seperti siklus bisnis ataupun perubahan ekonomi global.
4. Pola *trend* adalah pola yang terjadi ketika adanya kenaikan ataupun penurunan jangka panjang yang berkelanjutan di dalam data. Pola *trend* mencerminkan perubahan sekuler di dalam data, yang bisa berupa peningkatan ataupun penurunan yang terus-menerus selama periode waktu tertentu. *Trend* bisa memperlihatkan arah pertumbuhan ataupun penurunan di dalam data, serta

sering dipergunakan guna membuat proyeksi jangka panjang berdasarkan arah *trend* yang teridentifikasi.

### 2.3 Logika *Fuzzy*

Seorang profesor di University of California Berkeley bernama Lotfi Asker Zadeh memperkenalkan logika *fuzzy* pada tahun 1965, logika *fuzzy* dibuat guna menyelesaikan masalah ketidakpastian. Logika *fuzzy* umumnya didefinisikan sebagai sistem logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran (*fuzzyness*) antara benar atau salah (Kusumadewi & Purnomo, 2010). Logika *fuzzy* merupakan logika yang menggunakan konsep sifat kesamaran, sehingga logika *fuzzy* ialah logika yang mempunyai tak hingga banyak nilai kebenaran yang dinyatakan di dalam bilangan *real* di dalam selang  $[0, 1]$ . Logika *fuzzy* memiliki keunggulan yaitu kemampuan untuk memodelkan ketidakpastian dan juga ketidakjelasan (Sivanandam, *et.al.*, 2007). Terdapat sejumlah hal penting yang perlu diketahui di dalam memahami sistem *fuzzy* yaitu (Kusumadewi & Purnomo, 2010):

#### 1. Variabel *Fuzzy*

Variabel *fuzzy* yaitu variabel yang akan dibahas di dalam suatu sistem *fuzzy*, seperti: usia, persediaan, temperatur, permintaan, serta lainnya. Variabel-variabel ini tidak dinyatakan di dalam nilai *absolut* ataupun pasti, melainkan di dalam istilah yang memungkinkan tersedianya ketidakpastian ataupun kesamaran. Misalnya, temperatur bisa dinyatakan sebagai "panas" ataupun "dingin," serta permintaan bisa dinyatakan sebagai "tinggi" ataupun "rendah," yang tidak mempunyai batasan tegas tetapi tergantung pada konteks tertentu.

#### 2. Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* ialah suatu grup yang mewakili suatu kondisi tertentu dalam satu variabel *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* merupakan generalisasi dari himpunan klasik (*crisp*) yang memiliki nilai keanggotaan yang dibatasi dengan interval  $[0, 1]$ . Sedangkan himpunan klasik hanya mempunyai dua kemungkinan nilai

keanggotaan yaitu 0 atau 1, namun himpunan *fuzzy* memungkinkan nilai keanggotaan berada di dalam rentang antara 0 serta 1, mencerminkan sejauh mana suatu elemen menjalankan kriteria himpunan tersebut. Himpunan *fuzzy* memiliki dua atribut, yaitu:

- a. Linguistik, ialah penamaan suatu kelompok yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti pada permintaan terdapat rendah, sedang, serta tinggi. Penggunaan bahasa alami ini membantu di dalam membuat aturan-aturan logika *fuzzy* yang lebih mudah dimengerti serta diinterpretasikan oleh manusia, meskipun mempunyai tingkat ketidakpastian yang lebih tinggi ketimbang representasi numerik. Namun, interpretasi linguistik di dalam logika *fuzzy* bersifat subjektif serta bergantung pada konteksnya. Misalnya, apa yang dianggap "tinggi" oleh satu orang mungkin dianggap "tengah" oleh orang lain. Itulah sebabnya, di dalam mengaplikasikan logika *fuzzy*, perlu dilaksanakan proses fuzzifikasi yang mengubah nilai numerik ke nilai linguistik sesuai dengan fungsi keanggotaan yang telah ditetapkan sebelumnya. Dengan mempergunakan linguistik di dalam logika *fuzzy*, kita bisa membuat sistem yang lebih adaptif serta bisa mengatasi ketidakpastian yang seringkali terjadi di dalam dunia nyata.
- b. Numeris, merupakan sebuah angka atau nilai yang menyatakan ukuran pada suatu variabel, misal 15, 30, serta 75. Di dalam konteks logika *fuzzy*, representasi numeris mengacu pada penggunaan angka guna menyatakan derajat keanggotaan suatu elemen dalam himpunan *fuzzy*. Angka ini mencerminkan sejauh mana suatu elemen menjalankan kriteria himpunan *fuzzy*. Representasi numeris ini memberikan kejelasan serta kemudahan di dalam pemrosesan data lantaran angka lebih mudah diolah secara matematis, namun representasi ini kurang jelas dibandingkan dengan representasi linguistik, lantaran tidak langsung memberikan gambaran tentang kondisi ataupun keadaan yang diwakili. Itulah sebabnya, di dalam praktiknya, representasi numeris seringkali dikombinasikan dengan representasi linguistik guna memanfaatkan keuntungan pada kedua pendekatan tersebut.

### 3. Himpunan Semesta atau Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan merupakan keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*. Semesta pembicaraan ialah himpunan bilangan *real* yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan, artinya nilai di dalam semesta pembicaraan harus disusun secara berurutan serta tidak boleh melompat ataupun berubah secara tiba-tiba. Misalnya, seandainya semesta pembicaraan suatu variabel yaitu rentang suhu pada -10 derajat hingga 40 derajat, agar setiap nilai di dalam rentang tersebut harus berurutan pada yang terendah hingga tertinggi tanpa ada nilai yang terlewat. Semesta pembicaraan bisa berupa bilangan positif ataupun negatif serta tidak mempunyai batas atas yang pasti, agar bisa mencakup rentang nilai yang sangat luas.

Contoh:

- a. Semesta pembicaraan pada kecepatan:  $[0, \infty)$ .
- b. Semesta pembicaraan pada pH:  $[0, 14]$ .

### 4. Domain Himpunan *Fuzzy*

Domain himpunan *fuzzy* yaitu rentang nilai yang diperbolehkan dalam semesta pembicaraan juga bisa dioperasikan di dalam suatu himpunan *fuzzy*. Di dalam konteks logika *fuzzy*, domain himpunan *fuzzy* ialah himpunan bilangan *real* yang menggambarkan nilai yang mungkin pada variabel *fuzzy* tersebut. Domain ini harus berada di dalam rentang yang diperbolehkan dalam semesta pembicaraan serta disusun secara berurutan dari yang terkecil hingga terbesar, dengan mempergunakan domain himpunan *fuzzy* yang sesuai agar memperoleh representasi yang lebih tepat serta berguna dalam sistem yang memakai logika *fuzzy*. Nilai domain bisa merupakan bilangan positif ataupun negatif.

Contohnya:

- a. Muda:  $[0, 16]$ .
- b. Dewasa:  $[17, 55]$ .
- c. Lansia:  $[55, \infty)$ .

## 2.4 Fuzzy Time Series

*Fuzzy Time Series* (FTS) yang pertama kali dikembangkan oleh Song serta Chissom sekitar tahun 1993, mempergunakan konsep *fuzzy* sebagai dasar operasinya. Dibandingkan dengan metode peramalan konvensional, FTS berfokus pada penangkapan pola pada data masa lalu guna menggambarkan data yang akan datang. Penggunaan himpunan *fuzzy* di dalam FTS mempunyai keunggulan dalam mengatasi ketidakpastian serta kompleksitas data. Dalam konteks peramalan, ketidakpastian seringkali disebabkan oleh variasi serta fluktuasi yang tidak terduga di dalam data historis, dengan menggunakan himpunan *fuzzy*, FTS bisa menangkap pola-pola yang mungkin sulit ditemukan oleh metode peramalan lain. Nilai yang dipakai pada peramalan FTS merupakan himpunan *fuzzy* pada bilangan *real* berdasarkan himpunan semesta yang telah ditetapkan. Himpunan *fuzzy* digunakan untuk menggantikan data historis yang akan diramalkan (Tauryawati & Irawan, 2014).

## 2.5 Fuzzifikasi

Di dalam sistem *fuzzy*, pada tahap fuzzifikasi *input* data yang diterima oleh sistem diubah menjadi nilai keanggotaan dalam himpunan *fuzzy* yang telah ditentukan sebelumnya. Proses fuzzifikasi melibatkan penerjemahan variabel numerik menjadi variabel linguistik ataupun variabel *fuzzy*. Fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah *input* sistem yang mempunyai nilai tegas (numeris) menjadi variabel linguistik menggunakan nilai keanggotaan yang disimpan dalam basis pengetahuan *fuzzy* (Meisadri & Indriani, 2013).

## 2.6 Defuzzifikasi

Pada tahap defuzzifikasi di dalam sistem *fuzzy*, *output fuzzy* yang diperoleh akan diubah menjadi nilai tegas (numeris) yang bisa digunakan untuk memperoleh nilai peramalan ataupun keputusan akhir. Defuzzifikasi adalah proses mengubah *output fuzzy* yang diperoleh oleh aturan-aturan logika *fuzzy* menjadi nilai tegas menggunakan nilai keanggotaan yang sesuai dengan saat dilakukan fuzzifikasi (Meisadri & Indriani, 2013).

## 2.7 Fuzzy Time Series Singh

Singh mengusulkan algoritma komputasi sederhana yang bertujuan guna meningkatkan efisiensi di dalam memperoleh persamaan relasional pada metode *fuzzy time series*. Algoritma ini memanfaatkan operasi komposisi *max-min* yang lebih sederhana dibandingkan dengan metode yang dipergunakan di dalam metode Song Chissom. Dengan demikian, algoritma yang diusulkan oleh Singh bisa mengurangi waktu yang diperlukan di dalam proses peramalan. Metode Singh dapat menyelesaikan masalah dalam mencari defuzzifikasi yang sesuai untuk menghasilkan nilai *output crisp* dengan akurasi yang lebih baik (Arvie, 2022).

Dalam metode *fuzzy time series* Singh terdapat beberapa tahapan dalam menyelesaikannya (Singh, 2007):

1. Menetapkan himpunan semesta ( $U$ )

Menetapkan himpunan semesta ( $U$ ) yaitu tahap awal di dalam proses *fuzzy time series* guna peramalan data, saat menetapkan himpunan semesta ( $U$ ) nilai minimum serta maksimum pada data historis ditentukan. Himpunan semesta ( $U$ ) didefinisikan sebagai himpunan bilangan *real* yang mencakup semua nilai yang mungkin pada data historis. Himpunan semesta ( $U$ ) didefinisikan sebagai berikut:

$$U = [D_{min} - D_1; D_{max} + D_2] \quad (2.1)$$

Dengan:

$D_{max}$  = nilai maksimum pada data.

$D_{min}$  = nilai minimum pada data.

$D_1$  dan  $D_2$  = bilangan positif yang ditentukan oleh peneliti.

## 2. Pembentukan Interval

Pembentukan interval dilakukan setelah himpunan semesta ( $U$ ) ditetapkan. Tahap ini melibatkan pembagian himpunan semesta  $U$  menjadi sejumlah interval dengan jarak yang sama. Jumlah interval ditentukan memakai rumus Sturges yaitu:

$$k = 1 + 3,322 \log (n) \quad (2.2)$$

Dengan:

$k$  = jumlah interval

$n$  = jumlah data observasi.

Menetapkan lebar interval yang didefinisikan sebagai  $l$  dengan rumus sebagai berikut:

$$l = \frac{(D_{max} + D_2) - (D_{min} - D_1)}{k} \quad (2.3)$$

Kemudian menetapkan nilai tengah ataupun *midpoint* ( $m_i$ ), dengan  $i = 1, 2, \dots, k$  mempergunakan rumus berikut ini:

$$m_i = \frac{a_i + b_i}{2} \quad (2.4)$$

Di mana  $m_i$  adalah nilai tengah himpunan *fuzzy* ke-  $i$ ,  $a_i$  yaitu batas atas serta  $b_i$  yaitu batas bawah masing-masing untuk  $i$  yang bersesuaian.

Kemudian sesudah didapatkan banyak interval kelas ( $k$ ) dan lebar interval kelas ( $l$ ), sehingga bisa dibentuk interval kelas  $u_1, u_2, \dots, u_k$  sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
u_1 &= (D_{min}; D_{min} + l) \\
u_2 &= (D_{min} + l; D_{min} + 2l) \\
&\vdots \\
&\vdots \\
u_k &= (D_{min} + (k - 1)l; D_{min} + kl)
\end{aligned}$$

3. Mendefinisikan himpunan *fuzzy* dan melakukan fuzzifikasi

Apabila  $U$  ialah semesta pembicaraan dengan  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_k\}$ , sehingga himpunan *fuzzy*  $A_i$  di mana  $i, j = 1, 2, \dots, k$  ( $k$  adalah banyak interval) didefinisikan sebagai berikut:

$$A_i = \frac{\mu_{A_i}(u_1)}{u_1} + \frac{\mu_{A_i}(u_2)}{u_2} + \dots + \frac{\mu_{A_i}(u_n)}{u_n} \quad (2.5)$$

dengan  $\mu_{A_i}(u_j)$  adalah fungsi keanggotaan atau derajat keanggotaan dari  $u_j$  ke  $A_i$ , di mana keanggotaan dari himpunan *fuzzy*  $A_i$  didefinisikan dengan:

$$\mu_{A_i}(u_j) = \begin{cases} 1 & \text{Apabila } i = j \\ 0,5 & \text{Apabila } i = j - 1 \text{ atau } i = j + 1 \\ 0 & \text{Selainnya} \end{cases}$$

Fuzzifikasi ialah cara mengidentifikasi data menjadi himpunan *fuzzy*. Berdasarkan rentang interval yang didapatkan bisa dibentuk nilai linguistik sesuai dengan jumlah interval yang terbentuk. Apabila sebuah data historis yang dikumpulkan termasuk di dalam interval  $u_i$ , sehingga data itu difuzzifikasi ke dalam  $A_i$ .

4. Membentuk *Fuzzy Logical Relationship* (FLR)

Menentukan FLR berdasarkan data yang diamati, di mana  $A_i \rightarrow A_j$  ditetapkan menurut nilai  $A_i$  yang sudah ditetapkan di langkah sebelumnya, dengan  $A_i$  ialah periode  $n$  serta  $A_j$  periode  $n + 1$  dalam data deret waktu.

5. Membentuk *Fuzzy Logical Relationship Group* (FLRG)

Mengklasifikasikan FLR yang sudah didapatkan pada langkah ke-4 ke dalam kelompok-kelompok maka terbentuk FLRG. FLRG ialah pengelompokkan tiap

transisi *state* dengan tujuan memudahkan perhitungan FLR yang sudah ada. Misalnya apabila FLR berbentuk  $A_1 \rightarrow A_2, A_1 \rightarrow A_1, A_1 \rightarrow A_3$ , maka FLRG yang terbentuk adalah  $A_1 \rightarrow A_1, A_2, A_3$ .

6. Melakukan defuzzifikasi data dan menghitung nilai peramalan

Defuzzifikasi ialah tahap terakhir pada sistem logika *fuzzy* yang bertujuan agar mendapatkan nilai variabel yang diharapkan. Prediksi menggunakan metode FTS Singh dilakukan dalam beberapa tahap. Sebelumnya akan didefinisikan sejumlah notasi yang akan dipakai dalam metode FTS Singh:

$[^*A_j]$  = interval yang bersesuaian dengan  $u_j$ .

$l[^*A_j]$  = lebar interval  $u_j$ .

$M[^*A_j]$  = nilai tengah interval  $u_j$ .

Berikut ialah notasi yang dipakai dalam menjelaskan suatu hubungan logika *fuzzy* (FLR)  $A_i \rightarrow A_j$ :

$A_i$  = himpunan *fuzzy* bagi periode ke  $t$ .

$A_j$  = himpunan *fuzzy* bagi periode ke  $t - 1$ .

$E_i$  = data aktual bagi periode ke  $t$ .

$E_{i-1}$  = data aktual bagi periode ke  $t - 1$ .

$E_{i-2}$  = data aktual bagi periode ke  $t - 2$ .

$F_j$  = nilai peramalan bagi periode ke  $t + 1$ .

Di bawah ini ialah algoritma peramalan dari FTS Singh pada periode  $t + 1$  serta seterusnya. Anggaphlah hubungan logika *fuzzy* (FLR) pada periode  $t$  ke  $t + 1$  yaitu  $A_i \rightarrow A_j$ . Nilai peramalan pada  $F_j$  bisa dihitung memakai algoritma berikut:

- a. Mencari nilai  $D_i$  (hubungan antara data ke  $t, t - 1$  dan  $t - 2$ ).

$$D_i = \left| |(E_i - E_{i-1})| - |(E_{i-1} - E_{i-2})| \right|$$

- b. Mencari  $X_i$  dan  $XX_i$  (hubungan data ke  $t$  dengan hubungan data 3 periode terakhir).

$$X_i = E_i + D_i$$

$$XX_i = E_i - D_i$$

- c. Mencari  $Y_i$  dan  $YY_i$  (hubungan data ke  $t$  dengan  $\frac{1}{2}$  dari hasil hubungan data 3 periode terakhir).

$$Y_i = E_i + (D_i/2)$$

$$YY_i = E_i - (D_i/2)$$

- d. Menghitung peramalan dengan aturan sebagai berikut:

Jika  $Y_i$  atau  $YY_i$  termasuk bagian dari  $[*A_j]$  maka:

$$F_j = M[*A_j] - \frac{1}{4} l[*A_j]$$

Jika tidak, maka lihat apakah  $X_i$  atau  $XX_i$  termasuk bagian dari  $[*A_j]$  jika termasuk maka:

$$F_j = M[*A_j] + \frac{1}{4} l[*A_j]$$

Jika tidak juga, maka:  $F_j = M[*A_j]$

- e. Mengulangi tahapan di atas dari a hingga d pada nilai  $t$  berikutnya.

## 2.8 Fuzzy Time Series Markov Chain

*Fuzzy Time Series Markov Chain* diperkenalkan pertama kali oleh Tsaur dalam penelitiannya untuk menganalisis keakuratan prediksi nilai tukar mata uang Taiwan dengan US Dolar (Tsaur, 2012). Dalam penelitiannya, Tsaur menggabungkan metode *fuzzy time series* dan rantai markov. Dengan memanfaatkan matriks probabilitas transisi, kombinasi ini berupaya mencapai probabilitas maksimum. Adapun langkah-langkah peramalan menggunakan *Fuzzy Time Series Markov Chain* sebagai berikut (Tsaur, 2012):

1. Menetapkan himpunan semesta ( $U$ )

Menetapkan himpunan semesta ( $U$ ) yaitu tahap awal di dalam proses *fuzzy time series* guna peramalan data, saat menetapkan himpunan semesta ( $U$ ) nilai minimum serta maksimum pada data historis ditentukan. Himpunan semesta ( $U$ ) didefinisikan sebagai himpunan bilangan *real* yang mencakup semua nilai yang mungkin pada data historis. Himpunan semesta ( $U$ ) didefinisikan dalam persamaan (2.1).

2. Pembentukan Interval

Pembentukan interval dilakukan setelah himpunan semesta ( $U$ ) ditetapkan. Tahap ini melibatkan pembagian himpunan semesta  $U$  menjadi sejumlah interval dengan jarak yang sama. Jumlah interval ditentukan memakai rumus Sturges pada persamaan (2.2) dan menetapkan lebar interval, seperti dalam persamaan (2.3) serta menentukan nilai tengah pada setiap interval yang dijelaskan di dalam persamaan (2.4).

3. Mendefinisikan himpunan *fuzzy* dan melakukan fuzzifikasi

Apabila  $U$  ialah semesta pembicaraan di mana  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_k\}$ , sehingga himpunan *fuzzy*  $A_i$  dengan  $i, j = 1, 2, \dots, k$  ( $k$  adalah banyak interval) didefinisikan pada persamaan (2.5), dengan  $\mu_{A_i}(u_j)$  adalah fungsi keanggotaan atau derajat keanggotaan dari  $u_j$  ke  $A_i$ , di mana keanggotaan dari himpunan *fuzzy*  $A_i$  didefinisikan dengan:

$$\mu_{A_i}(u_j) = \begin{cases} 1 & \text{Apabila } i = j \\ 0,5 & \text{Apabila } i = j - 1 \text{ atau } i = j + 1 \\ 0 & \text{Selainnya} \end{cases}$$

Fuzzifikasi ialah cara mengidentifikasi data menjadi himpunan *fuzzy*. Berdasarkan rentang interval yang didapatkan bisa dibentuk nilai linguistik sesuai dengan jumlah interval yang terbentuk. Apabila sebuah data historis yang dikumpulkan termasuk di dalam interval  $u_i$ , sehingga data itu difuzzifikasi ke dalam  $A_i$ .

4. Membentuk *Fuzzy Logical Relationship* (FLR)

Proses ini menentukan hubungan logika *fuzzy* ialah  $A_i \rightarrow A_j$ .  $A_i$  ialah *current state*  $Y_{(t-1)}$  serta  $A_j$  ialah *next state* bagi waktu ke- $t$ . FLR mengaitkan nilai linguistik yang ditetapkan berdasarkan tabel fuzzifikasi.

5. Membentuk *Fuzzy Logical Relationship Group* (FLRG)

Pada saat proses ini mengelompokkan FLR ke dalam sejumlah kelompok.

6. Menentukan matriks probabilitas transisi

FLRG dipergunakan supaya memperoleh probabilitas *state* selanjutnya. Sehingga diperoleh matriks transisi Markov dengan dimensi  $n \times n$ . Probabilitas transisi pada *state* bisa ditulis seperti:

$$P_{ij} = \frac{M_{ij}}{M_i} ; i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.6)$$

Dengan:

$P_{ij}$  = probabilitas transisi pada *state*  $A_i$  ke  $A_j$  satu langkah.

$M_{ij}$  = banyak transisi pada *state*  $A_i$  ke  $A_j$  satu langkah.

$M_i$  = banyak data yang termasuk di dalam *state*  $A_i$ .

Matriks probabilitas transisi  $\mathbf{P}$  bisa ditulis seperti:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

7. Menghitung nilai peramalan awal

Guna memperoleh nilai peramalan awal pada matriks probabilitas yang didapatkan, sehingga bisa dihitung menggunakan aturan ini:

- a. Apabila FLRG  $A_i$  ialah kosong ( $A_i \rightarrow \emptyset$ ) sehingga perolehan hasil peramalan ialah  $m_i$ , merupakan nilai tengah pada  $u_i$  maka persamaannya seperti berikut:

$$F(t) = m_i \quad (2.8)$$

- b. Apabila FLRG  $A_i$  ialah relasi satu ke satu ( $A_i \rightarrow A_j$  di mana  $P_{ij} = 1$ , sehingga perolehan hasil peramalan ialah  $m_i$  merupakan nilai tengah pada  $u_i$  maka persamaannya seperti berikut:

$$F(t) = m_i P_{ij} = m_i \quad (2.9)$$

- c. Apabila FLRG  $A_i$  ialah relasi satu ke banyak ( $A_i \rightarrow A_1, A_2, \dots, A_k$ ), sehingga hasil perolehan peramalan seperti berikut:

$$F(t) = m_1 P_{i1} + m_2 P_{i2} + \dots + m_{i-1} P_{i(i-1)} + Y(t-1) P_{ii} + m_{i+1} P_{i(i+1)} + \dots + m_k P_{ik} \quad (2.10)$$

Dengan:

$m_1, \dots, m_k$  = nilai tengah  $u_1, \dots, u_k$

$Y(t-1)$  = nilai aktual saat waktu  $t-1$

## 8. Menghitung nilai penyesuaian peramalan

Digunakan untuk meninjau kembali kesalahan peramalan. Aturannya ialah seperti berikut ini:

- a. Apabila *state*  $A_i$  berkomunikasi dengan  $A_i$ , dimulai pada *state*  $A_i$  saat  $t-1$  sebagaimana  $F(t-1) = A_i$  serta terjadi perpindahan transisi naik ke *state*  $A_j$  saat  $t$ , ( $i < j$ ), sehingga nilai penyesuaian ditentukan seperti berikut:

$$D_t = \left( \frac{l \times s}{2} \right) \quad (2.11)$$

Dengan  $l$  ialah lebar interval serta  $s$  ialah banyaknya transisi naik.

- b. Apabila *state*  $A_i$  berkomunikasi dengan  $A_i$ , dimulai pada *state*  $A_i$  saat  $t-1$  sebagaimana  $F(t-1) = A_i$  serta terjadi perpindahan transisi turun ke *state*  $A_j$  saat  $t$ , ( $i > j$ ), sehingga nilai penyesuaian ditentukan seperti berikut:

$$D_t = - \left( \frac{l \times r}{2} \right) \quad (2.12)$$

Dengan  $l$  ialah lebar interval serta  $r$  ialah banyaknya transisi turun.

- c. Apabila FLR  $A_i$  berelasi dengan  $A_j$  ( $A_i \rightarrow A_j$ ) di mana  $i = j$ , sehingga nilai penyesuaian ditentukan seperti berikut:

$$D_t = 0 \quad (2.13)$$

#### 9. Menentukan hasil peramalan akhir

Pada umumnya perolehan hasil peramalan bisa ditulis seperti berikut:

$$F'_t = F_t \pm D_t \quad (2.14)$$

dengan  $F'_t$  ialah perolehan peramalan akhir,  $F_t$  ialah perolehan peramalan awal serta  $D_t$  ialah nilai penyesuaian peramalan.

### 2.9 Pengukuran Akurasi Metode Peramalan

Ukuran ketepatan peramalan dipandang sebagai kriteria penolakan untuk memilih suatu metode peramalan sehingga bisa digunakan untuk menentukan metode yang lebih baik dalam membandingkan beberapa metode (Tauryawati & Irawan, 2014). Akurasi peramalan dianggap baik ketika hasil peramalan cocok dengan realitas atau data sebenarnya (data aktual). Akurasi peramalan bisa dilihat berdasarkan tingkat kesalahan dalam peramalan (*error*), di mana semakin kecil *error* yang dihasilkan maka semakin akurat peramalan yang dilakukan (Wei, 2006), oleh karena itu pentingnya pengujian akurasi peramalan yaitu agar kita bisa mengidentifikasi sejauh mana teknik peramalan yang dipergunakan sesuai dengan kebutuhan serta kondisi yang ada. Dengan mengidentifikasi batas toleransi peramalan pada kesalahan yang terjadi, kita bisa menetapkan apakah suatu teknik peramalan layak dipergunakan ataupun perlu disesuaikan. Itulah sebabnya, pengujian akurasi peramalan menjadi tahap penting di dalam memilih teknik peramalan yang paling sesuai guna suatu kasus ataupun konteks peramalan tertentu. Sejumlah kriteria yang digunakan mengukur ketepatan perolehan hasil peramalan yaitu:

1. *Mean Absolute Error* (MAE)

Nilai *Mean Absolute Error* (MAE) menunjukkan rata-rata kesalahan (*error*) absolut antara hasil peramalan atau prediksi dengan nilai *real*. MAE merupakan rata-rata nilai *absolute error* dari kesalahan meramal dengan tidak menghiraukan tanda positif atau negatifnya, rumus yang dipergunakan di dalam menghitung nilai MAE yaitu berikut ini (Makridakis, *et.al.*, 1998):

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y_t - F_t| \quad (2.15)$$

Dengan:

$Y_t$  = nilai aktual saat waktu ke- $t$

$F_t$  = nilai peramalan saat waktu ke- $t$

$n$  = banyak data

2. *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE)

*Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) merupakan metode paling akurat untuk mengukur kesalahan, karena menyajikan persentase kesalahan antara hasil prediksi dan kondisi aktual selama periode tertentu, serta memberikan informasi tentang persentase terlalu tinggi atau terlalu rendah. MAPE merupakan ukuran ketepatan relatif yang digunakan untuk mengetahui persentase penyimpangan hasil peramalan, rumus yang dipakai menghitung nilai MAPE adalah sebagai berikut (Makridakis, *et.al.*, 1998):

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - F_t}{Y_t} \right| \times 100\% \quad (2.16)$$

Dengan:

$Y_t$  = nilai aktual saat waktu ke- $t$

$F_t$  = nilai peramalan saat waktu ke- $t$

$n$  = banyak data

Sebuah model peramalan dianggap mempunyai kinerja yang sangat baik seandainya nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) berada di bawah 10%, hal ini memperlihatkan bahwasanya persentase kesalahan di dalam peramalan relatif kecil yang berarti perolehan hasil peramalan bisa diandalkan

serta akurat. Di sisi lain, sebuah model dianggap memiliki kinerja yang bagus seandainya nilai MAPE berada di antara 10% serta 20%. Meskipun demikian, semakin kecil nilai persentase kesalahan, semakin akurat perolehan peramalan tersebut. (Pajriati, 2021).

## **2.10 Gabah Kering Panen (GKP)**

Gabah ialah salah satu produk pertanian yang kebutuhan produksinya terus meningkat. Buah padi (*Oryza Sativa Lineus*) yang dipisahkan dari batangnya dibagi menjadi dua bagian yaitu Gabah Kering Panen (GKP) serta Gabah kering Giling (GKG). Harga Gabah Kering Panen (GKP) dapat memengaruhi besar kecilnya harga jual beras. Menurut Hermanto & Saptana (2017), pada musim panen raya, harga gabah biasanya turun lantaran pasokan yang meningkat serta kualitas gabah yang menurun, tetapi pada musim kemarau, harga gabah biasanya naik lantaran kualitas gabah yang lebih baik. Fluktuasi harga gabah pada musim-musim tertentu menyebabkan harga bahan baku yang digunakan untuk mengubah gabah menjadi beras cenderung berubah-ubah. Perubahan harga gabah berdampak pada biaya produksi beras, yang kemudian memengaruhi harga jual beras. Ketika harga gabah naik, biaya produksi beras juga meningkat, serta ini cenderung membuat harga beras menjadi lebih mahal, sehingga hubungan antara harga gabah serta harga beras bisa dikatakan sebagai hubungan yang positif, di mana kenaikan harga gabah akan mengakibatkan kenaikan harga beras. Hal ini lantaran harga beras sangat tergantung pada harga bahan baku utamanya, yaitu gabah. (Kusumawardhani & Octavia, 2023).

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada semester genap tahun akademik 2023/2024 dan bertempat di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

#### 3.2 Data Penelitian

Data yang dipakai pada penelitian ini ialah data sekunder, yang merupakan data Harga Gabah Kering Panen (GKP) (Rp/Kg) pada tahun 2019 - 2023. Data ini berasal dari *website* resmi Badan Pusat Statistika (BPS) Indonesia: <https://www.bps.go.id/indicator/36/1034/1/rata-rata-harga-gabah-bulanan-menurut-kualitas-komponen-mutu-dan-hpp-di-tingkat-petani.html>.

Penelitian menggunakan data bulanan selama rentang waktu Januari 2019 hingga Desember 2023, maka banyaknya data yang dimiliki yaitu 60 data.

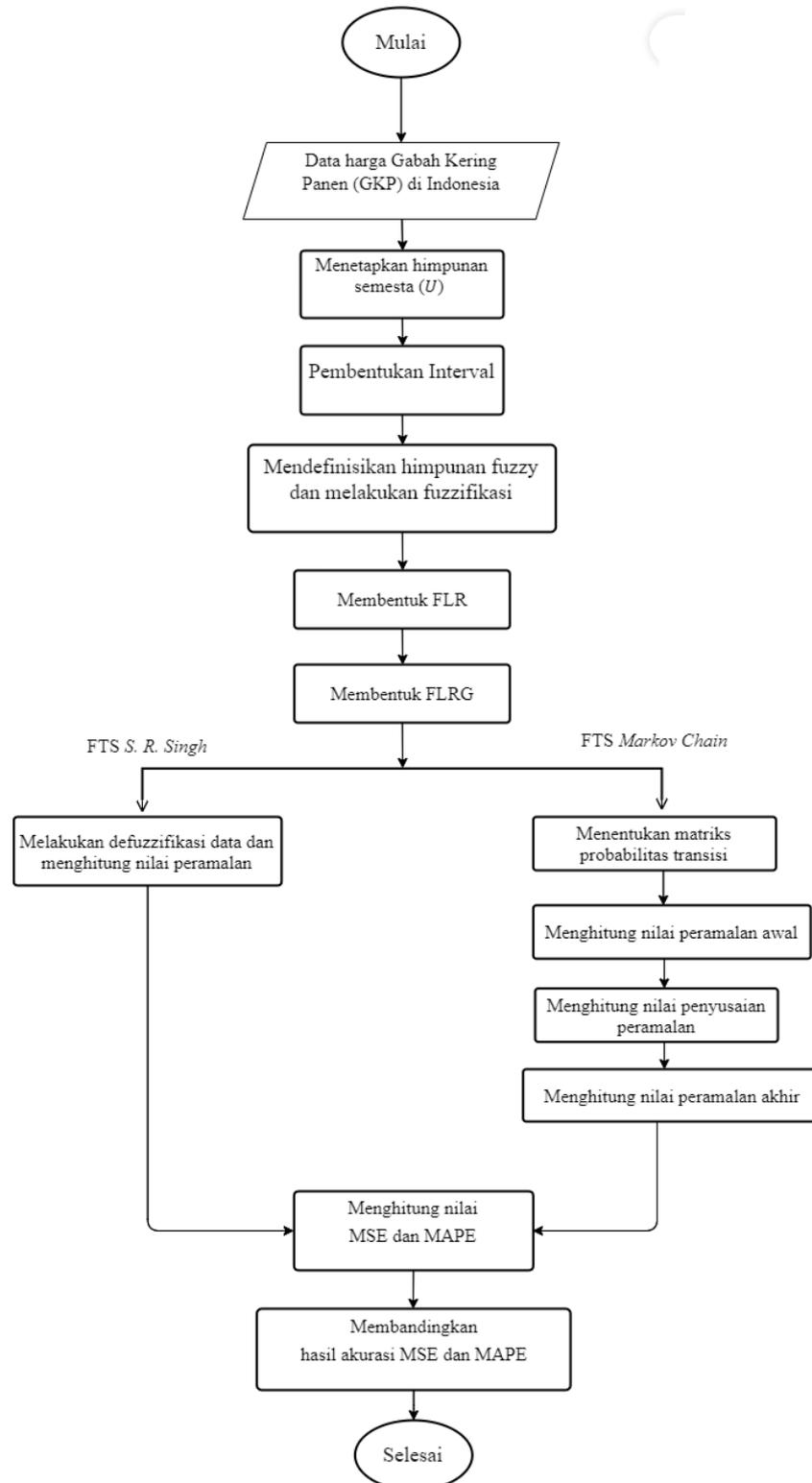
#### 3.3 Metode Penelitian

Guna meramalkan data harga Gabah Kering Panen (GKP) di Indonesia, penelitian ini membandingkan metode peramalan *fuzzy time series* singh serta *fuzzy time series* markov chain. Data penelitian ini diolah dengan bantuan *software* R Studio dan

Excel. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini yaitu seperti berikut:

1. *Import* data yang sudah dimiliki.
2. Melakukan peramalan dengan Tahap 1. Menentukan *universe of discourse* (semesta pembicaraan atau  $U$ ) berdasarkan persamaan (2.1).
3. Tahap 2. Menentukan banyak interval kelas dengan memakai persamaan Sturges sesuai dengan persamaan (2.2), maka didapatkan lebar interval melalui persamaan (2.3). Serta menentukan nilai tengah pada persamaan (2.4).
4. Tahap 3. Mendefinisikan himpunan *fuzzy* sesuai dengan persamaan (2.5) serta melaksanakan fuzzifikasi.
5. Tahap 4. Membentuk *Fuzzy Logical Relationship* (FLR) dengan menetapkan hubungan logika *fuzzy* yaitu  $A_i \rightarrow A_j$ .  $A_i$  ialah *current state*  $Y_{(t-1)}$  serta  $A_j$  ialah *next state* saat waktu ke- $t$ .
6. Tahap 5. Membentuk *Fuzzy Logical Relationship Group* (FLRG) dengan mengelompokkan FLR ke dalam beberapa kelompok.
7. Proses peramalan memakai metode *fuzzy time series* Singh dilanjutkan dengan melakukan defuzzifikasi data serta menghitung nilai peramalan.
8. Proses peramalan dengan metode *fuzzy time series* Markov Chain setelah tahapan ke-1 sampai dengan tahapan ke-5 dilanjutkan dengan:
  - a. Menentukan matriks probabilitas transisi Markov berdasarkan persamaan (2.6).
  - b. Menghitung nilai peramalan awal.
  - c. Menghitung nilai penyesuaian peramalan.
  - d. Menghitung nilai peramalan akhir sesuai persamaan (2.14).
9. Menghitung nilai MAE dan MAPE pada kedua metode tersebut.
10. Membandingkan hasil akurasi MAE dan MAPE pada kedua metode tersebut.

Diberikan alur penelitian dalam bentuk *flowchart* sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil peramalan yang diperoleh pada FTS Singh serta FTS Markov Chain mempunyai hasil peramalan yang mendekati data sebenarnya (data aktual), serta pola fluktuasi pada grafik dari kedua metode tersebut juga mengikuti pola fluktuasi data sebenarnya (data aktual).
2. Hasil akurasi peramalan metode FTS Singh diperoleh nilai MAPE sebesar 1,791% dan MAE sebesar 89,332, sedangkan dengan metode FTS Markov Chain diperoleh nilai MAPE sebesar 2,170158% dan MAE sebesar 108,5265. Berdasarkan hasil akurasi peramalan itu didapatkan kesimpulan bahwa metode FTS Singh lebih baik di dalam meramalkan data harga Gabah Kering Panen (GKP), lantaran nilai *error* hasil ramalan FTS Singh lebih kecil daripada nilai *error* FTS Markov Chain.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arman, N. 2006. *Manajemen Industri*. Andi, Yogyakarta.
- Arvie, D. 2022. Peramalan Import Migas dan Non-Migas Menggunakan Metode Fuzzy Time Series Model Cheng. *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*. **9**(4): 3519-3528.
- Cryer, J.D., & Chan, K.S. 2008. *Time Series Analysis with Application in R*. Second Edition. Springer, New York.
- Devianto, D., Zuardin, A., & Maiyastri. 2022. Time series modeling of natural gas future price with fuzzy time series Chen, Lee, and Tsaur. *Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*. **16**(4): 1185-1196.
- Hermanto., & Saptana. 2017. Kebijakan Harga Beras Ditinjau Dari Dimensi Penentu Harga. *Jurnal Forum Penelitian Agro Ekonomi*. **35**(1): 31-43.
- Kelana, O.D., Putra, A.A., Amalita, N., & Salma, A. 2023. Comparison of the Chen and Sinsgh's Fuzzy Time Series Methods in Forecasting Farmer Exchange Rates in Indonesia. *UNP Journal of Statistics and Data Science*. **1**(4): 264-270.
- Khaira, H., Fitri, F., Amalita, N., & Permana, D. 2023. Forecasting Shallot Prices in West Sumatra Province Using the Fuzzy Time Series Method of the Singh Model and the Cheng Model. *UNP Journal of Statistics and Data Science*. **1**(1): 8-15.
- Kusumadewi, S., & Purnomo, H. 2010. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Graha Ilmu, Yogyakarta.

- Kusumawardhani, R.T., & Octavia, E. 2023. Grain price implikasi harga gabah terhadap kesejahteraan petani tanaman pangan dan inflasi. *Jurnal Budget: Isu dan Masalah Keuangan Negara*. **8**(2): 236-254.
- Makridakis, S., Wheelwright, S.C., & Hyndman, R.J. 1998. *Forecasting methods and applications*. John Wiley & Sons, New York.
- Meisadri, R., & Indriani, N. 2013. Pembangunan Game First Person Shooter 3D Alien Hunter. *Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika (KOMPUTA)*. **2**(1): 1-6.
- Muhammad, M., Wahyuningsih, S., & Siringoringo, M. 2021. Peramalan nilai tukar petani subsektor peternakan menggunakan fuzzy time series lee. *Jambura Journal of Mathematics*. **3**(1): 1-15.
- Naba, A. 2009. *Belajar Cepat Fuzzy Logic Menggunakan Matlab*. Andi, Yogyakarta.
- Nurfazriani., & Hamzah, A. 2022. Perbandingan metode Fuzzy Time Series-Chen dan metode Fuzzy Time Series-Markov Chain untuk meramalkan data inflasi di Indonesia. *Jurnal Statistika Industri dan Komputasi*. **7**(2): 31-40.
- Pajriati, N.H. 2021. Penerapan Metode Average Based Fuzzy Time Series Lee Untuk Peramalan Harga Emas Di PT. X. *Jurnal Riset Matematika*. **1**(1): 73-81.
- Sari, D.A., Nurmayanti, W.P., & Kertanah. 2023. Perbandingan Metode Fuzzy Time Series Model Chen, Lee, dan Singh pada Produksi Tomat di Nusa Tenggara Barat. *Prosiding Seminar Nasional Matematika, Statistika dan Aplikasinya*. **3**(1): 231-253.
- Singh, S.R. 2007. A simple method of forecasting based on fuzzy time series. *International Journal of Applied Mathematics and Computation*. **186**(1):330-339.
- Sivanandam, S.N., Sumathi, S., & Deepa, S.N. 2007. *Intoduction to Fuzzy Logic Using MATLAB*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.

- Tauryawati, M.L., & Irawan, M.I. 2014. Perbandingan Metode Fuzzy Time Series Cheng dan Metode Box-Jenkins untuk Memprediksi IHSG. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. **3**(2): 34-39.
- Tsaur, R.C. 2012. A Fuzzy Time Series-Markov Chain Model With An Application To Forecast The Exchange Rate Between The Taiwan And US Dollar. *International Journal of Innovative Computing, Information, and Control*. **8**(7B): 4931-4942.
- Wang, Y., Lei, Y., Fan, X., & Wang, Y. 2015. Intuitionistic Fuzzy Time Series Forecasting Model Based on Intuitionistic Fuzzy Reasoning. *International Journal of Mathematical Problems in Engineering*. **2016**(1): 1-12.
- Wei, W.W.S. 2006. *Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods Second Edition*. Pearson Prentice Hall, New Jersey.