BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini dijelaskan mengenai tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan teori dan penunjang menyelesaikan permasalahan Tugas Akhir.

2.1 Beban Energi Listrik

Listrik adalah salah satu energi yang sangat penting bagi kehidupan manusia dan tak dapat dipungkiri bahwa listrik telah menjadi kebutuhan sehari-hari bagi manusia. Kebutuhan energi listrik semakin berkembang seiring dengan kemajuan teknologi, industri, dan informasi. Energi listrik merupakan energi akhir yang dibutuhkan peralatan listrik untuk menggerakkan motor, lampu penerangan, pemanas, pendingin ruangan, bahkan untuk mengaktifkan kembali peralatan mekanik agar menghasilkan energi lain (Ekananta dkk, 2018).

Secara umum beban energi listrik yang dilayani oleh sistem distribusi elektrik dibagi menjadi beberapa sektor yaitu sektor rumah tangga, sektor perumahan, sektor industri, sektor komersial, dan sektor usaha. Masing-masing sektor beban tersebut memiliki karakteristik yang berbeda karena hal ini berkaitan dengan pola konsumsi energi listrik pada masing-masing konsumen di sektor tersebut (Suswanto, 2009).

2.2 Peramalan

Menurut Subagyo (1986), peramalan adalah prediksi mengenai suatu hal yang belum terjadi. Peramalan juga didefinisikan sebagai ilmu dan seni untuk mempediksi kejadian di masa depan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan pengambilan data di masa lalu dan menempatkannya di masa depan dengan suatu model matematis.

Peramalan merupakan kegiatan mengestimasi kejadian yang akan terjadi di masa depan. Peran peramalan sangat penting dan sangat dibutuhkan apabila perbedaan waktu tersebut sangat panjang terutama dalam penentuan kapan suatu kejadian akan terjadi, sehingga dapat dilakukan suatu tindakan yang perlu dilakukan.

Menurut Jumingan (2009), teknik peramalan terbagi menjadi 2 kelompok yaitu teknik peramalan kuantitatif dan teknik peramalan kualitatif. Teknik peramalan kualitatif merupakan teknik peramalan berdasarkan pendapat suatu pihak, dan datanya tidak dapat direpresentasikan secara tegas menjadi suatu angka. Teknik peramalan kuantitatif merupakan teknik peramalan yang didasari pada data di masa lalu (data historis) dan dapat dibuat dalam bentuk angka yang biasa disebut sebagai data time series.

Menurut Makridakis (1992), menjelaskan bahwa pada umunya teknik peramalan kuantitatif dapat diterapkan jika terdapat tiga kondisi, sebagai berikut:

1. Tersedia informasi tentang masa lalu (data historis).
2. Informasi tersebut dapat dikuantitatifkan dalam bentuk numerik.
3. Dapat diasumsikan bahwa beberapa aspek pola masa lalu akan terus berlanjut di masa yang akan datang.

2.3 Peramalan Beban Energi Listrik

Model peramalan beban energi listrik yang akurat sangat penting dalam perencanaan dan pengoperasian sistem energi listrik di masa depan. Peramalan beban energi listrik sangat membantu perusahaan listrik dalam mengambil keputusan untuk menyuplai energi listrik, mengatur pembangkitan, pemutusan beban (*load switching*), dan pembangunan infrastruktur. Peramalan beban energi listrik (*load forecast*) atau kebutuhan energi listrik (*demand forecast*) merupakan langkah awal dari Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL). RUPTL dirangkai oleh PT.PLN Pusat. Peramalan beban energi listrik terhadap unit bisnis PLN sangat penting dalam merangkai RUPTL (Bahtiar, 2015).

2.4 Logika *Fuzzy*

Logika *fuzzy* merupakan komponen pembentuk *soft computing*. Hal utama dari *fuzzy logic* adalah teori himpunan *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* merupakan kelas objek dengan rangkaian nilai keanggotaan. Himpunan tersebut ditandai dengan fungsi keanggotaan yang diberikan kepada setiap objek dengan nilai berkisar antara nol dan satu. Notasi yang digunakan antara lain *inclusion, union, intersection*, komplemen, relasi, berbagai sifat dari notasi dalam konteks himpunan *fuzzy* juga diterapkan. Secara khusus, teorema pemisah untuk himpunan *fuzzy* adalah memberikan pemisah tanpa harus benar-benar memisahkan himpunan *fuzzy* tersebut (Zadeh, 1965).

Menurut Susilo (2006), Logika *fuzzy* pertama kali dikembangkan oleh Lotfi Azker Zadeh melalui tulisannya pada tahun 1965 tentang teori himpunan *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* adalah konsep yang mendasari lahirnya logika *fuzzy*. Zadeh memperluas teori mengenai himpunan klasik menjadi himpunan *fuzzy* sehingga himpunan klasik merupakan kejadian khusus dari himpunan *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* adalah himpunan yang anggotanya memiliki derajat keanggotaan tertentu yang nilainya berada pada selang tertutup [0,1].

2.5 *Time series*

Time series adalah data yang dikumpulkan berdasarkan urutan waktu dalam suatu rentang waktu tertentu. Waktu yang biasa digunakan yaitu hari, bulan, tahun, dan sebagainya. Prosedur statistika yang diterapkan untuk meramalkan struktur probabilitas keadaan di masa depan dalam rangka pengambilan keputusan adalah analisis data berkala (Tauryawati dan Irawan, 2014).

Menurut Purwanto dkk (2013), *time series* adalah data suatu objek yang meliputi beberapa periode waktu. Contoh data *time series* yaitu harga saham, data ekspor, data nilai tukar (*kurs*), data inflasi, dan data produksi. Data tersebut jika diamati masing-masing terjadi secara berurutan dan berhubungan dengan waktu. Peramalan data *time series* dilakukan untuk memprediksi kejadian di masa depan berdasarkan data di masa lalu (data historis). *Time series* adalah kumpulan data dari pengamatan yang teratur pada suatu variabel dalam waktu periode yang sama dan suksesif.

Peramalan dengan metode deret waktu didasarkan pada pendugaan masa depan yang dilakukan berdasarkan data pada masa lalu dari suatu variabel dan kesalahan peramalan di masa lalu. Tujuan metode deret waktu ini adalah menemukan pola dalam deret data historis dan mengekstrapolasikan pola dalam deret data tersebut ke masa yang akan datang (Hasan, 2011).

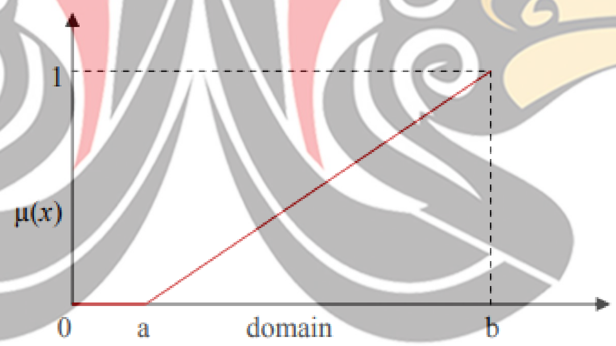
2.6 Grafis Himpunan *Fuzzy*

Grafis himpunan *fuzzy* merupakan gambaran dari fungsi keanggotaan yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai derajat keanggotaan yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Nilai keanggotaan atau derajat keanggotaan bisa didapat dengan melakukan beberapa pendekatan fungsi keanggotaan, seperti berikut:

A. Representasi Linier

Pemeteaan input ke derajat keanggotaannya dapat digambarkan sebagai suatu garis lurus. Bentuk ini paling sederhana dan menjadi pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas. Ada dua keadaan himpunan *fuzzy* yang linear.

1. Representasi linear naik, yaitu kenaikan himpunan dimulai dari nilai domain yang memiliki nilai keanggotaan nol [0] bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan yang lebih tinggi.

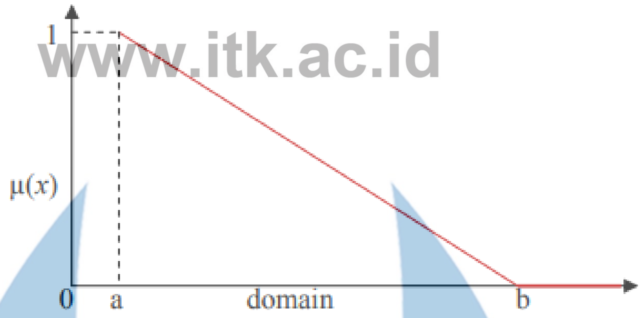


Gambar 2.1 Representasi Linier Naik (Solikin, 2011)

Fungsi Keanggotaan:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; \quad x < a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & ; \quad a < x \leq b\text{'} \end{cases} \tag{2.1}$$

2. Representasi linear turun, yaitu garis lurus yang dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak turun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah.



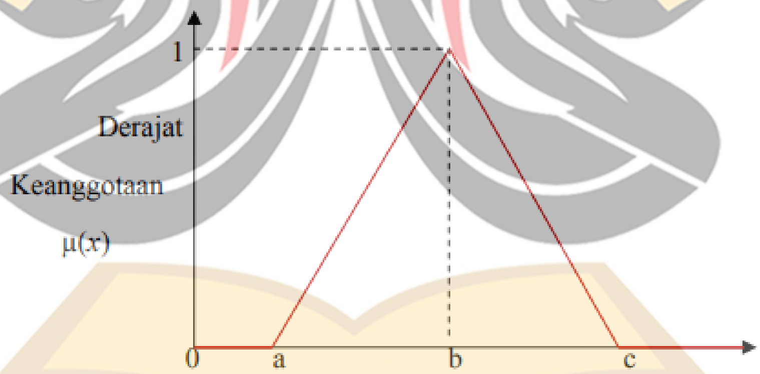
Gambar 2.2 Representasi Linier Turun (Solikin, 2011)

Fungsi Keanggotaan:

$$\mu(x) = \mu(x) = \begin{cases} \frac{(x-a)}{(b-a)} & ; \quad a < x \leq b \\ 0 & ; \quad x \geq b \end{cases}, \tag{2.2}$$

B. Representasi Kurva Segitiga

Representasi kurva segitiga, pada dasarnya adalah gabungan antara dua representasi linear (representasi linear naik dan representasi linear turun), seperti terlihat pada gambar berikut:



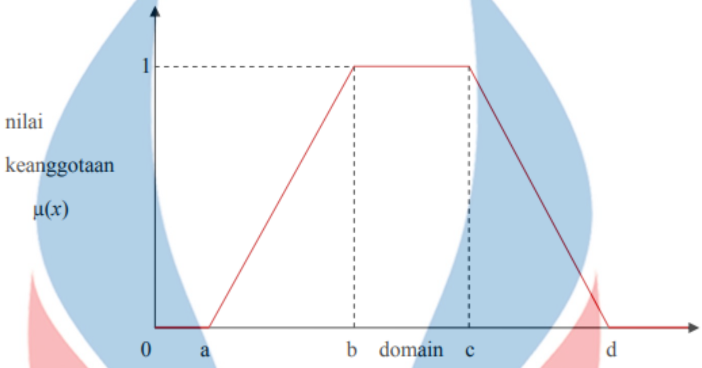
Gambar 2.3 Representasi Kurva Segitiga (Solikin, 2011)

Fungsi Keanggotaan:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq a \; dan \; x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & ; \quad a < x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & ; \quad b < x < c \end{cases}, \tag{2.3}$$

C. Representasi Kurva Trapesium

Representasi kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk kurva segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 (satu), seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.4 Representasi Kurva Trapesium (Solikin, 2011)

Fungsi Keanggotaan:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ;\ x \leq a\ dan\ x \geq d \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & ;\quad a < x \leq b \\ 1 & ;\quad b < x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)} & ;\quad c < x \leq d \end{cases} \tag{2.4}$$

(Solikin, 2011).

2.7 Operasi Himpunan *Fuzzy*

Ada beberapa operasi yang didefinisikan secara khusus untuk mengkombinasi dan memodifikasi himpunan *fuzzy*. Nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi dua himpunan sering dikenal dengan nama α-predikat. Terdapat tiga operasi dasar dalam himpunan *fuzzy*, yaitu irisan, gabungan, dan komplemen.

A. Operasi Irisan

Operasi irisan pada himpunan *fuzzy* merupakan hasil operasi dengan operator AND yang diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cap B} = \min\big(\mu_A(x), \mu_B(x)\big), \tag{2.5}$$

B. Operasi Gabungan

Operasi gabungan pada himpunan *fuzzy* merupakan hasil operasi dengan operator OR yang diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar antar elemen pada himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A\cup B} = \max\left(\mu_A(x), \mu_B(x)\right), \tag{2.6}$$

C. Operasi Komplemen

Operasi komplemen pada himpunan *fuzzy* merupakan hasil operasi dengan operator NOT yang diperoleh dengan mengurangkan nilai keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan dari 1.

$$\mu_{A^c} = 1 - \mu_A(x), \tag{2.7}$$

(Wibowo, 2015)

2.8 Sifat-Sifat Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* memiliki sifat yang sama dengan himpunan *crisp* (*non-fuzzy*) sebagai berikut:

a) Komutatif

$$\tilde{A} \cup \tilde{B} = \tilde{B} \cup \tilde{A}, \tag{2.8}$$

$$\tilde{A} \cap \tilde{B} = \tilde{B} \cap \tilde{A}, \tag{2.9}$$

b) Assosiatif

$$\tilde{A} \cup (\tilde{B} \cup \tilde{C}) = (\tilde{A} \cup \tilde{B}) \cup \tilde{C}, \tag{2.10}$$

$$\tilde{A} \cap (\tilde{B} \cap \tilde{C}) = (\tilde{A} \cap \tilde{B}) \cap \tilde{C}, \tag{2.11}$$

c) Distributif

$$\tilde{A} \cup (\tilde{B} \cap \tilde{C}) = (\tilde{A} \cup \tilde{B}) \cap (\tilde{A} \cup \tilde{C}), \tag{2.12}$$

$$\tilde{A} \cap (\tilde{B} \cup \tilde{C}) = (\tilde{A} \cap \tilde{B}) \cup (\tilde{A} \cap \tilde{C}), \tag{2.13}$$

d) Transitif

$$\text{Jika } \tilde{A} \subseteq \tilde{B} \subseteq \tilde{C}, \text{ maka } \tilde{A} \subseteq \tilde{C}, \tag{2.14}$$

e) Involution

$$\bar{\bar{A}} = \tilde{A}, \tag{2.15}$$

f) Identitas

$$\tilde{A} \cup \emptyset = \tilde{A} \text{ dan } \tilde{A} \cap X = \tilde{A}, \tag{2.16}$$

$$\tilde{A} \cap \emptyset = \tilde{\emptyset} \text{ dan } \tilde{A} \cup X = X, \tag{2.17}$$

g) Idempotent

$$\tilde{A} \cup \tilde{A} = \tilde{A} \text{ dan } \tilde{A} \cap \tilde{A} = \tilde{A}, \tag{2.18}$$

h) Law of excluded middle

$$\tilde{A} \cup \bar{A} = X, \tag{2.19}$$

i) Law of contradiction

$$\tilde{A} \cap \bar{A} = \emptyset, \tag{2.20}$$

(Zadeh, 1965).

2.9 *Fuzzy Time Series*

Fuzzy Time Series (FTS) adalah sebuah metode peramalan yang menggunakan prinsip-prinsip dasar dari *fuzzy*. *Fuzzy Time Series* dikembangkan oleh L. Zadeh dan kemudian dikembangkan lagi oleh Song dan Chissom pada tahun 1993 untuk memecahkan permasalahan peramalan pada pendaftaran mahasiswa baru dengan data *time series*. Peramalan dengan metode *Fuzzy Time Series* menangkap pola dari data di masa lalu yang kemudian digunakan untuk memproyeksi data di masa yang akan datang (Berutu, 2013). Metode FTS digunakan untuk peramalan suatu data menggunakan konsep *fuzzy set* untuk dasar perhitungannya. Proses dari metode *Fuzzy Time Series* tidak membutuhkan sebuah sistem pembelajaran dari suatu sistem yang rumit, sebagaimana yang terdapat pada algoritma genetika dan *neural network* sehingga mudah digunakan dan dikembangkan (Robandi, 2006).

2.10 *Fuzzy Time Series* Menurut Song dan Chissom

Fuzzy Time Series (FTS) pada awalnya diperkenalkan oleh Song dan Chissom (1993) di dalam sebuah paper untuk memprediksi jumlah penerimaan mahasiswa di Universitas Alabama. Motivasinya untuk memperkenalkan sebuah kerangka *forecasting* yang baru berdasarkan teori *fuzzy set*, untuk masalah model *time series* ketika data historis didefinisikan sebagai nilai linguistik. Berikut merupakan FTS menurut Song dan Chissom (1993).

1. Pembentukan himpunan semesta (U)

$$U = [X_{min} - X_1; X_{max} + X_2], \tag{2.21}$$

dimana X_1 dan X_2 adalah suatu nilai konstanta.

2. Pembentukan interval

Himpunan semesta dibagi menjadi beberapa interval dengan jarak yang sama. Jarak interval tersebut dapat ditentukan dengan salah satu cara yang bisa digunakan yaitu rumus Sturges. Beberapa peneliti juga menggunakan rumus Sturges untuk menentukan jarak interval, seperti (Sumartini dkk, 2017).

$$k = 1 + 3.322 \log(n), \tag{2.22}$$

dimana n adalah banyaknya data historis yang digunakan.

Hasil yang diperoleh tersebut terbentuk sejumlah nilai linguistik untuk mempresentasikan suatu himpunan *fuzzy* pada interval-interval yang terbentuk dari himpunan semesta (U).

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}, \tag{2.23}$$

dengan, U adalah himpunan semesta dan u_i adalah banyak kelas pada U, untuk $i = 1,2, \dots, n$. Himpunan *fuzzy* merupakan suatu kelas atau golongan dari objek dengan sebuah rangkaian kesatuan dari derajat keanggotaan. Misalkan U merupakan himpunan semesta, dengan $U = \{u_1, u_2, \dots, u_k\}$ dimana u_i adalah nilai yang mungkin dari U, maka variabel linguistik A_i terhadap U dapat dituliskan sebagai berikut:

$$A_i = \frac{\mu_{A_i(u_1)}}{u_1} + \frac{\mu_{A_i(u_2)}}{u_2} + \frac{\mu_{A_i(u_3)}}{u_3} + \dots + \frac{\mu_{A_i(u_n)}}{u_n}, \tag{2.24}$$

(Song dan Chissom, 1994).

2.11 Definisi *Fuzzy Set*

Diberikan U sebagai himpunan semesta. Sebuah himpunan *fuzzy* A_i pada himpunan U dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$A_i = \left\{\left(u_j, \mu_{A_i}(u_j)\right) \middle| u_j \in U\right\}, \tag{2.25}$$

dimana μ_{A_i} adalah fungsi keanggotaan dari A_i, atau dinotasikan sebagai $\mu_{A_j} : U \to [0,1]$, dan $\mu_{A_i}(u_j)$ adalah derajat keanggotaan dari elemen u_j dalam himpunan *fuzzy* A_i. Jika U menjadi himpunan terbatas dan tak terbatas, maka himpunan *fuzzy* A_i dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$A_i = \sum_{j=1}^{n} \frac{\mu_{A_i}(u_j)}{u_j} = \frac{\mu_{A_i}(u_1)}{u_1} + \frac{\mu_{A_i}(u_2)}{u_2} + \cdots + \frac{\mu_{A_i}(u_n)}{u_n}, \tag{2.26}$$

dan nilai derajat keanggotaan dari $\mu_A(u_i)$ didefinisikan sebagai berikut.

Jika $j = i$, maka $\mu_{A_i}(u_j) = 1$,

Jika $j = i - 1$, maka $\mu_{A_i}(u_j) = 0.5$,

Jika $j = i + 1$, maka $\mu_{A_i}(u_j) = 0.5$; selain itu $\mu_{A_i}(u_j) = 0$.

(Song dan Chissom, 1993).

2.12 Definisi *Fuzzy Time Series* dan Algoritma Peramalan

Definisi 1 (FTS). Diberikan $Y(t)$ $(t = 0,1,2,\dots)$, bagian dari bilangan *real*, menjadi himpunan semesta dimana himpunan *fuzzy* $f_i(t)$ $(i = 1,2,\dots)$ didefinisikan dalam himpunan semesta $Y(t)$ dan $F(t)$ adalah kumpulan dari $f_i(t)$ $(i = 1,2,\dots)$. Kemudian $F(t)$ disebut FTS yang didefinisikan pada $Y(t)$ $(t = 0,1,2,\dots)$. Oleh karena itu $F(t)$ dapat dipahami sebagai variabel deret waktu linguistik, dimana $f_i(t)$ $(i = 1,2,\dots)$, kemungkinan nilai linguistik dari $F(t)$.

(Song dan Chissom, 1993).

Definisi 2 (*Fuzzy relation*). Jika terdapat sebuah relasi *fuzzy* $R(t-1,t)$, sehingga $F(t) = F(t-1) \circ R(t-1,t)$, dimana "∘" dinotasikan sebagai operator, maka $F(t)$ disebabkan oleh $F(t-1)$ dan dinotasikan sebagai berikut:

$$F(t-1) \to F(t), \tag{2.27}$$

(Song dan Chissom, 1993).

Definisi 3 (Model orde pertama pada FTS). Misalkan $F(t)$ disebabkan oleh $F(t-1)$ dinotasikan dengan $F(t-1) \rightarrow F(t)$, maka hubungan tersebut dapat direpresentasikan sebagai berikut:

$$F(t) = F(t-1) \circ R(t, t-1), \tag{2.28}$$

dimana "∘" dinotasikan sebagai operator, dimana $R(t, t-1)$ adalah sebuah relasi *fuzzy* antara $F(t)$ dan $F(t-1)$ dan disebut sebagai model orde pertama dari $F(t)$. (Song dan Chissom, 1993).

Definisi 4 (FLR). Diberikan $F(t-1) = A_i$ dan $F(t) = A_j$. Hubungan antara kedua data berurutan disebut *Fuzzy Logic Relation* (FLR). Seperti contoh $F(t)$ dan $F(t-1)$, dapat dinotasikan sebagai berikut:

$$A_i \rightarrow A_j, i, j = 1,2, \dots, p \tag{2.29}$$

dimana p adalah nilai interval atau subinterval. A_i disebut *left-hand side* (LHS), dan A_j disebut *right-hand side* (RHS) pada FLR (Yu, 2005).

Definisi 5 (FLRG). Diberikan $A_i \rightarrow A_j, A_i \rightarrow A_k, \dots, A_i \rightarrow A_p$ adalah FLR dengan LHS yang sama sehingga dapat dikelompokkan ke dalam *Fuzzy Logic Relationship Group* (FLRG) yang terurut dengan menempatkan semua RHS dalam FLR bersama dalam FLRG. Dapat ditulis sebagai berikut:

$$A_i \rightarrow A_j, A_i \rightarrow A_k, \dots, A_i \rightarrow A_p \tag{2.30}$$

dimana $i, j, k, \dots, p$ merupakan representasi dari bilangan bulat positif lebih dari nol (Yu, 2005).

2.13 Usulan Pendekatan Berdasarkan Rentang Inter-Kuartil

Peramalan FTS ini, nilai estimasi sangat bergantung pada panjang interval dan jumlah partisi dari himpunan semesta. Data yang dikelompokkan pada dasarnya memiliki panjang interval yang didefinisikan sebagai berikut (Salim dkk, 2012).

$$l = R/k, \tag{2.31}$$

dimana l adalah besar lebar interval, R adalah rentang data, dan k adalah sejumlah kelas atau nomor partisi. Panjang interval yang tepat dan efektif diselidiki berdasarkan pendekatan antar kuartil. Rentang data dan rentang kuartil didefinisikan sebagai berikut (Levine dkk, 2001).

1. *Range* (R) adalah selisih antara pengamatan terbesar (X_{max}) dan terkecil (X_{min}) dalam himpunan data, dituliskan sebagai berikut:

$$R = X_{max} - X_{min}, \tag{2.32}$$

2. Kuartil pertama (Q_1) adalah nilai sedemikian hingga 25% lebih kecil dan 75% lebih besar dari pengamatan, dituliskan sebagai berikut:

$$Q_1 = (n+1)/4, \tag{2.33}$$

3. Kuartil kedua (Q_2) adalah nilai sedemikian hingga 50% lebih kecil dan 50% lebih besar dari pengamatan, dituliskan sebagai berikut:

$$Q_2 = (n+1)/2, \tag{2.34}$$

4. Kuartil ketiga (Q_3) adalah nilai sedemikian hingga 75% lebih kecil dan 25% lebih besar dari pengamatan, dituliskan sebagai berikut:

$$Q_3 = 3(n+1)/4, \tag{2.35}$$

5. *Midpoint intervals value* atau nilai titik tengah interval dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$m_i = \frac{batas\ bawah + batas\ atas}{2}, \tag{2.36}$$

(Ismail dkk, 2015).

2.14 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan langkah awal dari proses inferensi *fuzzy*. Langkah ini menunjukkan data yang diinput diterima dan sistem akan menentukan nilai fungsi keanggotaannya dan mengubah variabel numerik (variabel non *fuzzy*) menjadi variabel linguistik (variabel *fuzzy*) (Jang dan Mizutani, 1997). Fuzzifikasi didefinisikan sebagai pemetaan dari himpunan tegas ke himpunan *fuzzy*. Karakteristik yang harus dipenuhi dalam proses fuzzifikasi adalah semua anggota pada himpunan tegas harus termuat dalam himpunan *fuzzy*, tidak ada gangguan pada *input* sistem *fuzzy* yang digunakan agar dapat mempermudah dalam perhitungan pada sistem *fuzzy* (Wang, 1997).

2.15 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan suatu proses yang menggabungkan seluruh *output fuzzy* menjadi suatu hasil yang spesifik sehingga dapat digunakan untuk masing-masing *output system* (Jang dan Mizutani, 1997). Defuzzifikasi merupakan langkah akhir dalam suatu sistem kendali logika *fuzzy*, dimana tujuannya adalah untuk mengkonversikan setiap hasil *inference engine* yang diinterpretasikan dalam bentuk *fuzzy set* ke dalam bentuk bilangan real. Hasil dari konversi tersebut merupakan aksi yang diambil dari kendali logika *fuzzy*. Oleh karena itu, pemilihan defuzzifikasi yang tepat juga turut memberikan pengaruh pada kendali logika *fuzzy* dalam menghasilkan respon yang optimum (Sutikno dan Waspada, 2012).

2.16 Hasil Peramalan pada Model FTS

Nilai beda pertama dalam analisis *time series* dapat dituliskan sebagai hasil selisih antara data aktual waktu t atau X_t dan data aktual pada $(t-1)$ atau $X_{(t-1)}$. Sehingga nilai beda pertama dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta^1 d = X_t - X_{(t-1)}, \tag{2.37}$$

dengan menggunakan persamaan (2.17), nilai peramalan X_t dapat disajikan sebagai berikut:

$$X_t = X_{(t-1)} + \Delta^1 d, \tag{2.38}$$

Persamaan (2.18) dapat digunakan untuk menentukan nilai peramalan yang dimodelkan dengan menggunakan titik tengah sub-interval efektif dari FLR yang terbentuk sebelumnya. Misalkan $A_i \to A_j$ adalah FLR, dimana A_i dan A_j adalah waktu linguistik saat ini (t) dan waktu linguitik yang lalu $(t-1)$. Titik tengah dari A_i dan A_j adalah m_i dan m_j. Oleh sebab itu dengan menggunakan persamaan (2.18), nilai peramalan pada waktu t dapat ditulis sebagai berikut:

$$F(A_j) = F(A_i) + \Delta^1 d, \tag{2.39}$$

$$F(A_j) = m_i + (X_t - X_{(t-1)}), \tag{2.40}$$

(Ismail dkk, 2015).

2.17 Hasil Peramalan Akhir Model FTS Klasik

Jika $F(t-1) = A_i$ maka, peramalan dari $F(t)$ dapat ditentukan dengan aturan-aturan dasar sebagai berikut:

[Aturan 1] Jika FLRG dari A_i adalah himpunan kososng $(A_i \to \emptyset)$, maka peramalan dari $F(t)$ adalah m_i yang merupakan titik tengah dari interval u_i dan dapat ditulis sebagai berikut:

$$F(t) = m_i, \tag{2.41}$$

[Aturan 2] Jika FLRG dari A_i adalah himpunan satu ke satu $(A_i \rightarrow A_j)$, maka peramalan dari $F(t)$ adalah m_j yang merupakan titik tengah dari interval u_j dan dapat ditulis sebagai berikut:

$$F(t) = m_j, \tag{2.42}$$

[Aturan 3] Jika FLRG dari A_i adalah himpunan satu ke banyak $(A_i \rightarrow A_j, A_k, \cdots, A_z)$, maka peramalan dari $F(t)$ adalah rata-rata dari $m_j, m_k, \cdots, m_z$ yang merupakan titik tengah dari interval $u_j, u_k, \cdots, u_z$ dan dapat ditulis sebagai berikut:

$$F(t) = \frac{(m_j, m_k, \cdots, m_z)}{z} \tag{2.43}$$

(Aditya dkk, 2019).

2.18 Akurasi Peramalan

Analisis runtun waktu (*time series*) memiliki tujuan untuk memprediksi nilai di masa yang akan datang (Wei, 2006). Peramalan juga bertujuan untuk menghasilkan ramalan optimum yang tidak memiliki tingkat kesalahan besar. Beberapa metode yang dapat digunakan dalam mengukur tingkat akurasi peramalan adalah sebagai berikut:

1. *Mean Square Error* (MSE).

$$\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(X_t - \hat{X}_t)^2, \tag{2.44}$$

2. *Mean Absolute Error* (MAE).

$$\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|X_t - \hat{X}_t\right|, \tag{2.45}$$

3. *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

$$\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t}\right| \times 100\%, \tag{2.46}$$

dengan X_t adalah data aktual pada waktu t dan $\hat{X}_t$ adalah data hasil peramalan pada waktu t. MAPE memiliki kriteria keakuratan yaitu, jika tingkat akurasi $< 10\%$ maka ketepatan peramalan sangat baik, jika tingkat akurasi $10\% \leq$ dan $< 20\%$ maka ketepatan peramalan baik, jika tingkat akurasi $20\% \leq$ dan $\leq 50\%$ maka ketepatan peramalan cukup, dan jika tingkat akurasi $> 50\%$ maka ketepatan peramalan tidak akurat (Fauziah dkk, 2019).

2.19 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah tabel rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No.	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1	Ismail dkk, (2015)	Metode: *Application of Fuzzy Time Series Approach in Electric Load Forecasting.* Hasil: Aplikasi FTS yang diusulkan lebih mudah diikuti dan lebih mudah mencapai hasil perkiraan yang lebih baik. Hasil aplikasi FTS yang diusulkan tersebut juga menunjukkan akurasi perkiraan pendekatan yang lebih unggul dibandingkan dengan pendekatan yang lain. FTS merupakan salah satu pendekatan alternatif yang lebih baik dalam peramalan beban energi listrik.
2	Aditya dkk, (2019)	Metode: Peramalan Harga Emas Indonesia Menggunakan Metode *Fuzzy Time Series* Klasik. Hasil: Pada penelitian ini, hasil peramalan harga emas Indonesia mengikuti pola data pergerakan harga emas aktual. Sementara nilai akurasi peramalan MAPE yaitu sebesar 0,99%, sehingga peramalan harga emas Indonesia dengan metode *Fuzzy Time Series* klasik berdasarkan kriteria MAPE tergolong sangat baik.

No.	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
3	Rahmah dan Irawan, (2019)	Metode: Penerapan *Fuzzy Time Series* dalam Peramalan Nilai KWH Listrik Golongan tarif Rumah Tangga di Jawa Timur. Hasil: Pada penelitian ini, hasil penerapan FTS untuk peramalan nilai KWH listrik golongan tarif rumah tangga tergolong baik. Hasil penerapan FTS pada data pemakaian KWH listrik kelompok rumah tangga golongan regular adalah baik, karena rata-rata nilai MAPE yang dihasilkan sebesar 19%.