

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Kelapa Sawit

Kelapa sawit adalah tumbuhan industri/ perkebunan yang berguna sebagai penghasil minyak masak, minyak industri, maupun bahan bakar. Pohon Kelapa Sawit terdiri dari dua *spesies* yaitu *elaeis guineensis* dan *elaeis oleifera* yang digunakan untuk pertanian komersil dalam pengeluaran minyak kelapa sawit. Pohon Kelapa Sawit *elaeis guineensis*, berasal dari Afrika barat diantara Angola dan Gambia, pohon kelapa sawit *elaeis oleifera*, berasal dari Amerika tengah dan Amerika selatan. Kelapa sawit menjadi populer setelah revolusi industri pada akhir abad ke-19 yang menyebabkan tingginya permintaan minyak nabati untuk bahan pangan dan industri sabun (Dinas Perkebunan Indonesia, 2007: 1).

Kelapa sawit termasuk tumbuhan pohon, tingginya dapat mencapai 0-24 meter. Bunga dan buahnya berupa tandan, serta bercabang banyak. Buahnya kecil, apabila masak berwarna merah kehitaman. Daging dan kulit buah kelapa sawit mengandung minyak. Minyak kelapa sawit digunakan sebagai bahan minyak goreng, sabun, dan lilin. Hampasnya dimanfaatkan untuk makanan ternak, khususnya sebagai salah satu bahan pembuatan makanan ayam.

Ciri-ciri fisiologi kelapa sawit yaitu:

1. Daun

Daun kelapa sawit merupakan daun majemuk berwarna hijau tua, pelapah berwarna sedikit lebih muda. Penampilannya sangat mirip dengan tanaman salak hanya saja dengan duri yang tidak terlalu keras dan tajam.

2. Batang

Batang tanaman diselimuti bekas pelapah hingga umur ± 12 tahun. Setelah umur ± 12 tahun pelapah yang mengering akan terlepas sehingga menjadi mirip dengan tanaman kelapa.

3. Akar

Akar serabut tanaman kelapa sawit mengarah ke bawah dan samping. Selain itu juga terdapat beberapa akar napas yang tumbuh mengarah ke samping atas untuk mendapatkan tambahan *aerasi*.

4. Bunga

Bunga jantan dan betina terpisah dan memiliki waktu pematangan berbeda sehingga sangat jarang terjadi penyerbukan sendiri. Bunga jantan memiliki bentuk lancip dan panjang sementara bunga betina terlihat lebih besar dan mekar.

5. Buah

Buah sawit mempunyai warna bervariasi dari hitam, ungu, hingga merah tergantung bibit yang digunakan.

B. Faktor-Faktor Penentu Harga Kelapa Sawit

Menurut Owolarafe O.K dan Arumughan (2007: 1-7) faktor-faktor yang mempengaruhi harga kelapa sawit ialah harga buah kelapa sawit, investasi, nilai tukar rupiah terhadap USD. Faktor-faktor kenaikan harga kelapa sawit menurut Abdul Aziz Karia, dkk (2013:259-267) yaitu produksi kelapa sawit, ekspor kelapa sawit, Harga minyak kelapa sawit (*crude palm oil* (CPO)). Menurut May dan Amaran M. H (2011: 30-35) faktor-faktor yang mempengaruhi harga kelapa sawit yaitu warna kematangan kelapa sawit, umur kelapa sawit, harga minyak kelapa sawit (*crude palm oil* (CPO)), harga kelapa sawit.

Faktor-faktor yang dipakai untuk penelitian prediksi harga kelapa sawit yaitu harga kelapa sawit, harga minyak kelapa sawit, produksi kelapa sawit.

1. Harga Kelapa sawit

Kelapa sawit adalah tumbuhan industri/ perkebunan yang berguna sebagai penghasil minyak masak, minyak industri, maupun bahan bakar. Perkembangan harga kelapa sawit di tingkat produsen dalam wujud tandan buah segar (TBS) pada periode 2000-2012 cenderung

meningkat. Harga produsen pada tahun 2000 rata-rata sebesar Rp. 349.879,- per ton, sementara di tahun 2001 mengalami penurunan menjadi Rp. 295.333,-per ton. Harga produsen tertinggi dicapai pada tahun 2012 dengan rata-rata harga Rp. 1.550.410,- per ton atau naik 17,34% terhadap tahun sebelumnya. Rata-rata laju pertumbuhan harga produsen selama periode 2000-2012 sebesar 15,39% (Dinas Perkebunan Indonesia 2007). Data yang dipakai pada penelitian ini yaitu harga kelapa sawit pada bulan sebelumnya untuk memprediksi harga kedepannya.

2. Produksi Kelapa Sawit

Produksi kelapa sawit adalah hasil yang dipanen dari usaha perkebunan tanpa melalui proses pengolahan lebih lanjut. Pada tahun 1980 produksi kelapa sawit Indonesia sebesar 721,17 ribu ton, tahun 2013 sebesar 27,74 juta ton atau tumbuh rata-rata sebesar 11,95% per tahun. Peningkatan produksi kelapa sawit selama kurun waktu tersebut terutama terjadi pada perkebunan rakyat sebesar 58,89% dan perkebunan besar swasta sebesar 14,48%, sedangkan produksi dari perkebunan besar negeri relative lambat sebesar 5,44% (Dinas Perkebunan Indonesia (2007: 4)).

Pada tahun 1980 hingga tahun 1993 produksi kelapa sawit lebih didominasi oleh perkebunan besar negeri. Perluasan areal oleh perkebunan besar swasta sekitar tahun 1990 mulai menunjukkan hasilnya setelah tahun 1993 dimana peningkatan produksi perkebunan besar swasta mampu melampaui produksi kelapa sawit yang berasal dari perkebunan besar negeri. Sementara itu perkebunan rakyat mengikuti keberhasilan perkebunan besar swasta setelah tahun 1998. Untuk periode tahun 1980-2013 produksi dari perkebunan rakyat meningkat sebesar 58,89% per tahun, sedangkan perkebunan besar swasta sebesar 14,48% per tahun. Pertumbuhan produksi perkebunan besar negeri cenderung landai dengan pertumbuhan sebesar 5,44% per tahun (Dinas Perkebunan Indonesia (2007)).

3. Harga Minyak Kelapa Sawit

Minyak kelapa sawit (*crude palm oil* (CPO)) merupakan hasil dari pengolahan buah kelapa sawit berupa minyak nabati yang dihasilkan dari buah kelapa sawit yang berwarna kuning dan minyak inti sawit (PKO atau *palm kernel oil*) yang tidak berwarna (jernih). Minyak kelapa sawit memiliki beragam keunggulan yang terletak pada penggunaannya sebagai bahan baku beragam industri, baik industri pangan maupun *non*-pangan. Potensi minyak kelapa sawit di Indonesia sangat besar dan mengalami peningkatan setiap tahunnya. Indonesia telah menjadi produsen minyak kelapa sawit terbesar di Dunia melebihi Malaysia. Pada tahun 2006, luas lahan kelapa sawit Indonesia mencapai 6,1 juta ha dengan rata-rata harga minyak kelapa sawit sebesar Rp.3,329.68. Pada tahun 2007 terjadi peningkatan luas lahan menjadi 6,78 juta ha dengan rata-rata harga minyak kelapa sawit sebesar Rp.5,977.54 atau meningkat sebesar 79.52291223% (Dinas Perkebunan Indonesia).

C. Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* adalah lanjutan dari himpunan tegas dengan keberadaan suatu elemen tidak lagi bernilai benar atau salah, tetapi mempunyai derajat keanggotaan yang berada dalam rentang [0, 1].

Definisi (Li-Xin Wang, 1997: 22)

Suatu himpunan *fuzzy* pada himpunan semesta U dapat dinyatakan dengan nilai fungsi keanggotaan pada interval [0 1].

Suatu himpunan *fuzzy* A pada himpunan semesta U dapat dinyatakan dengan himpunan pasangan terurut elemen x dan nilai keanggotaannya. Secara matematis pernyataan tersebut dapat ditulis dengan:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U\}$$

Pada himpunan klasik (*crisp*), nilai keanggotaan suatu elemen x dalam himpunan A memiliki 2 kemungkinan (Sri Kusumadewi, 2013) yaitu :

1. Satu (1), yang berarti bahwa suatu elemen anggota dalam suatu himpunan.
2. Nol (0), yang berarti bahwa suatu elemen tidak menjadi suatu anggota dalam suatu himpunan.

Rentang/ interval keanggotaan *fuzzy* dengan himpunan klasik keduanya memiliki nilai pada interval [0 1], sehingga seringkali menimbulkan kerancuan. Namun interpretasi nilai keanggotaan *fuzzy* dengan himpunan klasik sangat berbeda antara kedua kasus tersebut, keanggotaan *fuzzy* memberikan suatu ukuran terhadap pendapat atau keputusan, sedangkan probabilitas/ himpunan klasik mengindikasikan proporsi terhadap keseringan suatu hasil bernilai benar dalam jangka panjang.

Contoh 2.1

Diberikan himpunan harga kelapa sawit $HKS1 = \{342.4, 498.9, 655.5\}$, $HKS2 = \{498.9, 655.5, 812\}$, $HKS3 = \{655.5, 812, 968.5\}$, merupakan semesta pembicaraan dapat dikatakan bahwa:

- Nilai keanggotaan 342.4 pada himpunan $HKS1$, $\mu_{HKS1}\{342.4\} = 1$, karena $342.4 \in \mu_{HKS1}$
- Nilai keanggotaan 812 pada himpunan $HKS1$, $\mu_{HKS1}\{812\} = 0$, karena $812 \notin \mu_{HKS1}$
- Nilai keanggotaan 498.9 pada himpunan $HKS2$, $\mu_{HKS2}\{498.9\} = 1$, karena $498.9 \in \mu_{HKS2}$
- Nilai keanggotaan 968.5 pada himpunan $HKS2$, $\mu_{HKS2}\{968.5\} = 0$, karena $968.5 \notin \mu_{HKS2}$

Himpunan *fuzzy* memiliki 2 atribut (Sri Kusumadewi, 2003), yaitu:

- a. *Linguistik*, yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti RENDAH, SEDANG, TINGGI.

- b. Numeris, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel seperti Rp.458.95, Rp.470.46, Rp.504.7 yang menunjukkan dalam satuan harga (Rupiah).

Beberapa hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem *fuzzy*, (Sri Kusumadewi, 2003), yaitu :

1. Variabel *Fuzzy*

Variabel *fuzzy* merupakan variabel yang nilainya tidak pasti atau relatif.

Contoh 2.2 Variabel *fuzzy* yang dibahas dalam penelitian ini adalah harga kelapa sawit, harga minyak kelapa sawit dan produksi kelapa sawit.

2. Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* adalah perluasan dari himpunan tegas dengan keberadaan suatu elemen tidak lagi bernilai benar atau salah, tetapi mempunyai derajat keanggotaan yang berada dalam rentang $[0, 1]$.

Contoh 2.3 Himpunan *fuzzy* harga kelapa sawit yang dibahas dalam penelitian ini ialah {HKS1, HKS2, HKS3, HKS4, HKS5, HKS6, HKS7, HKS8, HKS9}.

3. Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*. Semesta pembicaraan merupakan himpunan bilangan real yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri kekanan dan turun (berkurang) dari kanan ke kiri.

Contoh 2.4 Semesta pembicaraan untuk *variable input* harga kelapa sawit adalah $[498.95, 1751.025]$.

4. Domain

Domain himpunan *fuzzy* adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy*. Seperti halnya semesta pembicaraan, domain merupakan himpunan bilangan real yang

senantiasa naik (bertambah) dan turun (berkurang). Nilai domain dapat berupa bilangan positif maupun negatif.

Contoh 2.5 Domain harga kelapa sawit sebagai berikut.

Variabel <i>fuzzy</i> harga kelapa sawit	Domain Harga kelapa sawit
Variabel harga kelapa sawit (HKS1)	[342.4 498.9 655.5]
Variabel harga kelapa sawit (HKS2)	[498.9 655.5 812]
Variabel harga kelapa sawit (HKS3)	[655.5 812 968.5]
Variabel harga kelapa sawit (HKS4)	[812 968.5 1125]
Variabel harga kelapa sawit (HKS5)	[968.5 1125 1281]
Variabel harga kelapa sawit (HKS6)	[1125 1281 1438]
Variabel harga kelapa sawit (HKS7)	[1281 1438 1595]
Variabel harga kelapa sawit (HKS8)	[1438 1595 1751]
Variabel harga kelapa sawit (HKS9)	[1595 1751 1908]

D. Logika *Fuzzy*

Logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang *input* kedalam suatu ruang *output*. Logika *fuzzy* dapat juga diartikan peningkatan dari *logika boolean* yang berhadapan dengan konsep sebagian kebenaran. Dimana logika klasik (*crisp*) menyatakan bahwa segala hal dapat diekspresikan dalam istilah *binary*. Logika *fuzzy* menggantikan kebenaran *boolean* dengan tingkat kebenaran 0 dan 1 (benar dan salah). Logika *fuzzy* memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, tingkat keabuan dan juga antara benar dan salah, dan dalam bentuk *linguistic*, konsep tidak pasti seperti “sedikit”, “lumayan”, dan “sangat”. Logika ini diperkenalkan oleh Dr. Lotfi Zadeh dari Universitas California, Barkeley pada tahun 1965. Logika *fuzzy* telah digunakan pada bidang-bidang seperti taksonomi, topologi, linguistik, teori automata, teori pengendalian, psikologi, *pattern recognition*, pengobatan, hukum, *decision analysis*, *system theory and information retrieval*. Pendekatan *fuzzy* memiliki kelebihan pada hasil yang terkait dengan sifat kognitif manusia, khususnya pada situasi yang melibatkan pembentukan konsep, pengenalan pola, dan pengambilan keputusan dalam lingkungan yang tidak pasti atau tidak jelas.

Perbedaan logika klasik dengan logika *fuzzy* yaitu proposisi logika klasik hanya mengenal benar atau salah dengan proposisi nilai 0 atau 1. Sedangkan logika *fuzzy* menyamaratakan 2 nilai logika klasik dengan membiarkan proposisi nilai kebenaran pada interval [0 1] (Wang Li-Xing, 1997). Logika *fuzzy* mempunyai banyak nilai dan tidak mengkategorikan elemen 100% ini atau itu, atau sebuah dalil yang menyatakan semuanya benar atau seluruhnya salah, logika *fuzzy* membaginya dalam derajat keanggotaan dan derajat kebenaran, yaitu sesuatu yang dapat menjadi sebagian benar dan sebagian salah pada waktu yang sama. Telah dibuktikan bahwa logika klasik merupakan kejadian khusus dari logika *fuzzy* (Setiadji, 2009)

Lotfi Zadeh menyatakan bahwa integrasi logika *fuzzy* kedalam sistem informasi dan rekayasa proses menghasilkan aplikasi seperti sistem kontrol, alat-alat rumah tangga, dan sistem pengambilan keputusan yang lebih fleksibel, mantap, dan canggih dibandingkan dengan sistem konvensional. Logika *fuzzy* memimpin dalam pengembangan kecerdasan mesin yang lebih tinggi. Produk-produk berikut telah menggunakan logika *fuzzy* dalam alat-alat rumah tangga, seperti mesin cuci, video dan kamera *refleksi* lensa tunggal, pendingin ruangan, *oven*, *microwave*, dan banyak sistem diagnosa mandiri.

Alasan digunakannya logika *fuzzy* antara lain (Sri Kusumadewi, 2003):

1. Konsep logika *fuzzy* mudah dimengerti dengan konsep matematis sebagai dasar dari penalaran *fuzzy* yang sangat sederhana dan mudah dimengerti.
2. Logika *fuzzy* sangat fleksibel, artinya mampu beradaptasi dengan perubahan-perubahan, dan ketidakpastian yang menyertai permasalahan.
3. Logika *fuzzy* memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat. Jika diberikan sekelompok data yang cukup homogen, dan kemudian ada beberapa data yang “*eksklusif*”, maka logika *fuzzy* memiliki kemampuan untuk menangani data *eksklusif*.

4. Logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi-fungsi non-linear yang sangat kompleks.
5. Logika *fuzzy* dapat mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para ahli secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan. Dalam hal ini, sering dikenal dengan nama *fuzzy expert system* menjadi bagian terpenting.
6. Logika *fuzzy* dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional. Hal ini umumnya terjadi pada aplikasi di bidang teknik mesin maupun teknik elektro.

E. Fungsi Keanggotaan *Fuzzy*

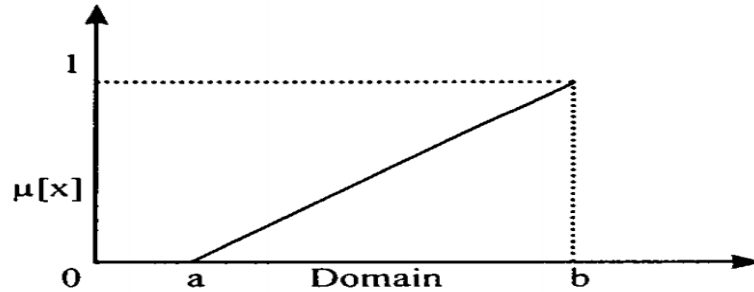
Fungsi keanggotaan (*membership function*) merupakan fungsi yang memetakan elemen suatu himpunan ke nilai keanggotaan dengan interval $[0, 1]$. Fungsi keanggotaan dapat direpresentasikan dengan beberapa cara, seperti representasi secara grafik, representasi secara tabulasi dan *list*, representasi secara geometrik dan representasi secara analitik. Adapun fungsi keanggotaan yang biasa digunakan secara analitik adalah sebagai berikut (Sri Kusumadewi, 2003).

1. Representasi Linear

Representasi linear merupakan pemetaan *input* kederajat keanggotannya digambarkan sebagai suatu garis lurus. Bentuk ini paling sederhana dan menjadi pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas. Ada 2 keadaan himpunan *fuzzy* yang linear. Pertama, kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol $[0]$ bergerak kekanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi atau sering juga disebut representasi linear naik. Kedua, penurunan himpunan dimulai dari nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan satu $[1]$ atau sering juga disebut representasi linear turun.

a. Representasi Linear Naik

Representasi linear naik dimulai dari keadaan derajat keanggotaan bernilai 0 bergerak kekanan menuju nilai domain dengan derajat keanggotaan yang lebih tinggi.



Gambar 2.1 Representasi linear naik.

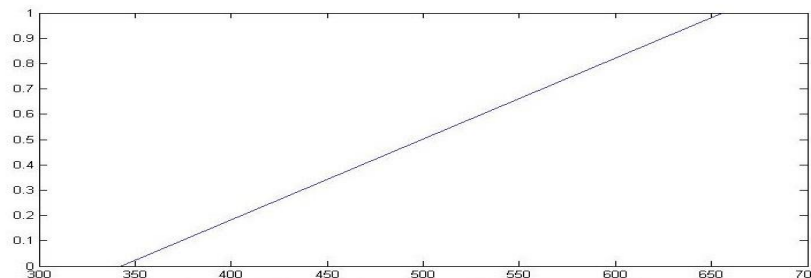
Dari Gambar 2.1, fungsi keanggotaannya:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{(x - a)}{(b - a)}; & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases}$$

Contoh 2.6 Diberikan sebuah himpunan universal harga kelapa sawit sebagai berikut [342.4 498.9 655.5] akan dicari nilai $\mu_{HKS1}[500]$ dengan:

$$\begin{aligned} \mu_{HKS1}[500] &= \begin{cases} 0; & x \leq 342.4 \\ \frac{(500 - 342.4)}{(655.5 - 342.4)}; & 342.4 \leq x \leq 655.5 \\ 1; & x \geq 655.5 \end{cases} \\ &= \frac{500 - 342.4}{313.1} \\ &= 0.50335 \end{aligned}$$

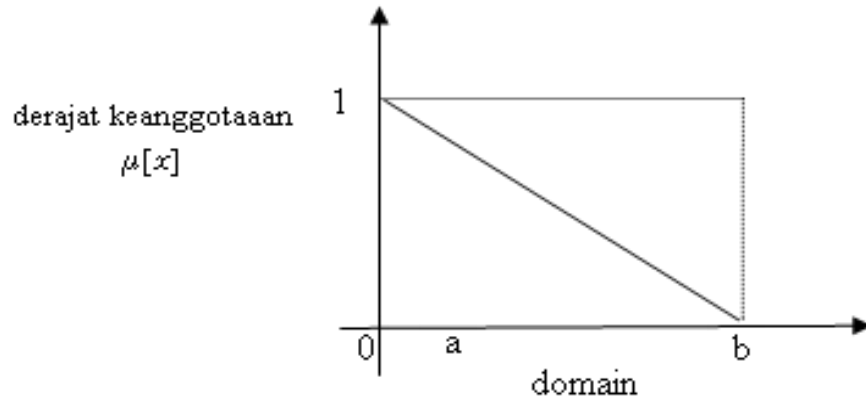
Grafik representasi linear naik disajikan pada Gambar 2.2 .



Gambar 2.2 Representasi linear naik untuk harga kelapa sawit HKS1.

b. Representasi Linear Turun

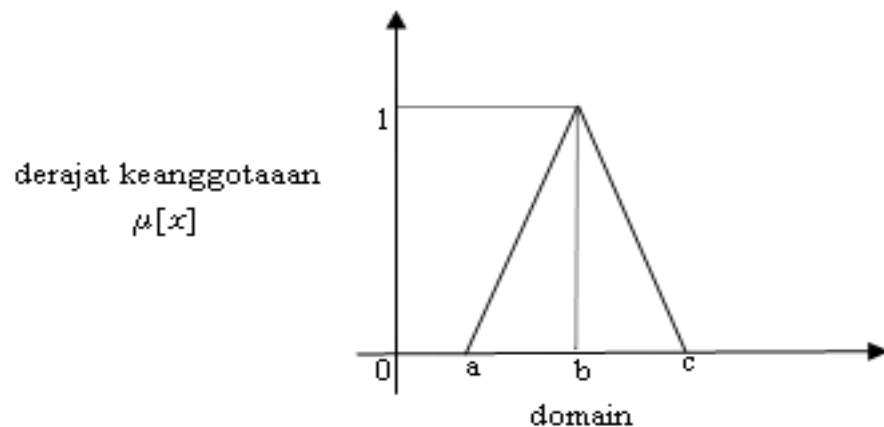
Representasi nilai turun merupakan kebalikan dari representasi linear naik. Garis lurus dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai domain dengan derajat keanggotaan yang lebih rendah.



Gambar 2.3 Representasi linear turun.

2. Representasi Kurva Segitiga

Representasi kurva segitiga pada dasarnya terbentuk dari gabungan dua garis linear, yaitu linear naik dan linear turun (Sri Kusuma Dewi, 2003). Kurva segitiga hanya memiliki satu nilai x dengan derajat keanggotaan tertinggi [1], hal tersebut terjadi ketika $x = b$. Nilai yang tersebar dipersekitaran memiliki perubahan derajat keanggotaan menurun dengan menjauhi 1 (Tiar 2015: 31).



Gambar 2.4 Kurva segitiga (Sri Kusuma Dewi, 2003).

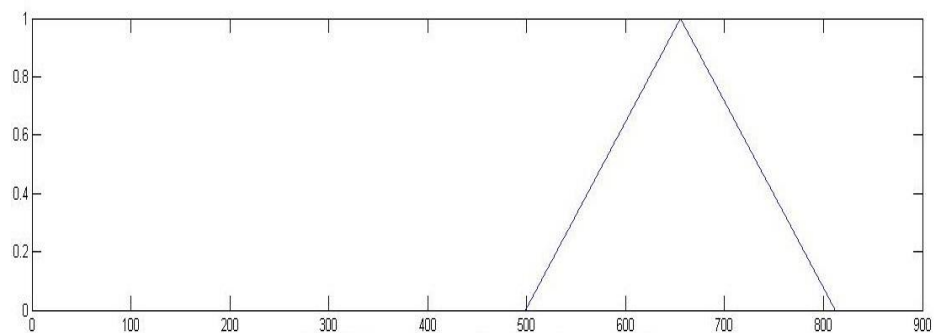
Fungsi keanggotaan kurva segitiga yaitu:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ dan } x > c \\ (x-a)/(b-a), & a < x \leq b \\ (c-x)/(c-b); & b < x \leq c \end{cases}$$

Contoh 2.7 Himpunan *fuzzy* harga kelapa sawit HKS2 dengan himpunan universal $U = [498.9 \ 655.5 \ 812]$ yang mempunyai fungsi keanggotaan:

$$\mu_{HKS2}(x) = \begin{cases} \frac{x-498.9}{156.6}, & 498.9 \leq x \leq 655.5 \\ \frac{812-x}{156.6}, & 655.5 \leq x \leq 812 \\ 0, & x < 498.9 \text{ dan } x > 812 \end{cases}$$

Grafik dari fungsi kurva segitiga ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Representasi kurva segitiga untuk harga kelapa sawit HKS2.

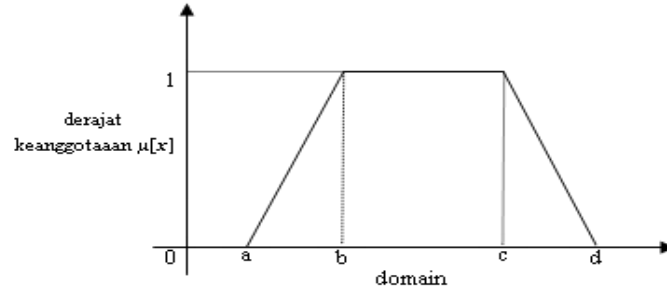
Berdasarkan fungsi keanggotaan pada Gambar 2.5, sebagai contoh menentukan derajat keanggotaan harga kelapa sawit untuk harga 549.54, dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_{HKS2}(600) &= \frac{x}{156.6} \\ &= \frac{600 - 498.9}{156.6} \\ &= 0.64559 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan dapat ditarik kesimpulan bahwa derajat keanggotaan harga kelapa sawit sebesar 549.54 merupakan anggota himpunan *fuzzy* HKS2.

3. Representasi Kurva Trapezium

Representasi kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1.



Gambar 2.6 Representasi kurva trapezium.

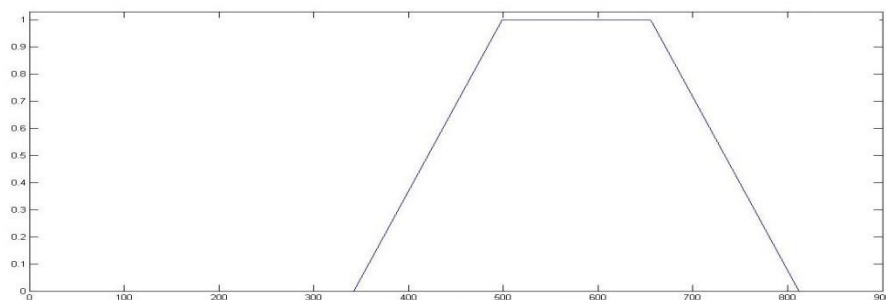
Fungsi keanggotaan dari representasi kurva trapesium:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x > d \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; & a < x \leq b \\ \frac{(d-x)}{(d-c)}; & c < x \leq d \\ 1; & b < x \leq c \end{cases}$$

Contoh 2.8 Himpunan *fuzzy* harga kelapa sawit HKS2 dengan himpunan universal [342.4 498.9 655.5 812], fungsi keanggotaannya:

$$\mu_{HKS2}(x) = \begin{cases} 1 & x > 812 \\ \frac{x-498.9}{156.6}, & 498.9 \leq x \leq 655.5 \\ \frac{812-x}{156.6}, & 655.5 \leq x \leq 812 \\ 0, & x < 498.9 \text{ atau } x \leq 812 \end{cases}$$

Grafik representasi dari kurva trapesium ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Representasi kurva trapesium harga kelapa sawit HKS2.

Berdasarkan fungsi keanggotaan pada Gambar 2.7, akan dicari derajat keanggotaan 700 untuk harga kelapa sawit HKS2 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\mu_{HKS1}(700) &= \frac{812 - 700}{156.6} \\ &= 0.7151979\end{aligned}$$

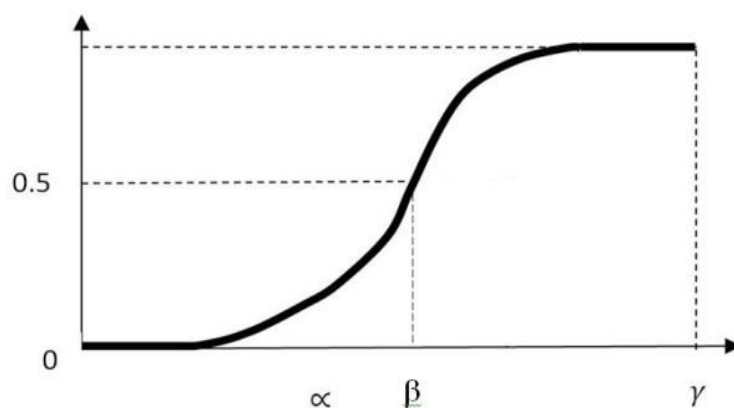
Berdasarkan perhitungan, diperoleh kesimpulan bahwa harga kelapa sawit HKS2 sebesar 700 merupakan anggota himpunan *fuzzy* harga kelapa sawit HKS2.

4. Representasi Kurva S (*Sigmoid*)

Kurva- S atau *sigmoid* terdiri dari kurva pertumbuhan dan penyusutan yang merupakan kurva berbentuk huruf S dan digunakan menghubungkan kenaikan dan penurunan permukaan yang tidak linear. Definisi kurva-S menggunakan 3 parameter, yaitu nilai keanggotaan nol (α), nilai keanggotaan satu (γ), dan titik infleksi (β) yaitu titik dengan domain yang memiliki derajat keanggotaan sebesar 0.5.

a. Kurva S Untuk Pertumbuhan

Kurva- S untuk pertumbuhan bergerak dari sisi paling kiri dengan nilai keanggotaan 0 ke sisi paling kanan dengan nilai keanggotaan 1. Fungsi keanggotaan akan tertumpu pada 50% nilai keanggotaan yang sering disebut dengan titik infleksi.



Gambar 2. 8 Kurva S-Pertumbuhan (Sri Kusumadewi, 2003).

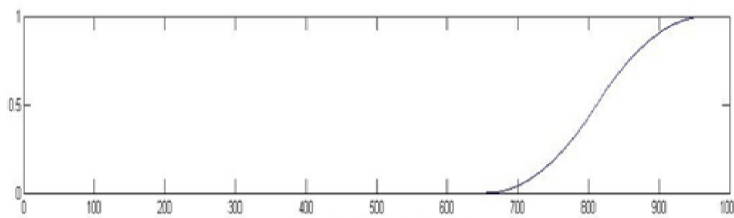
Fungsi keanggotaan dari representasi kurva S sebagai berikut:

$$S(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0; & x < \alpha \\ 2\left(\frac{x-\alpha}{\gamma-\alpha}\right)^2; & \alpha \leq x < \beta \\ 1-2\left(\frac{x-\alpha}{\gamma-\alpha}\right)^2; & \beta \leq x < \gamma \\ 1; & x > \gamma \end{cases}$$

Contoh 2.9 Himpunan *fuzzy* harga kelapa sawit HKS3 dengan himpunan universal $U = [655.5 \ 812 \ 968.5]$, mempunyai fungsi keanggotaan

$$s(x; 655.5, 812, 968.5) = \begin{cases} 0; & x < 655.5 \\ 2\left(\frac{x-655.5}{156.6}\right)^2, & 655.5 \leq x \leq 812 \\ 1-2\left(\frac{968.5-x}{156.6}\right)^2, & 812 \leq x \leq 968.5 \\ 1; & x > 1100 \end{cases}$$

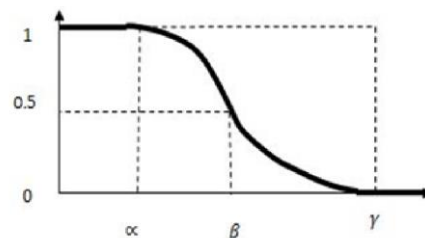
Grafik representasi dari fungsi keanggotaan tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Kurva S harga kelapa sawit HKS3.

b. Kurva-S Untuk Penyusutan

Kurva S untuk penyusutan bergerak dari sisi paling kanan dengan nilai keanggotaan 1 ke sisi paling kiri dengan nilai keanggotaan 0.



Gambar 2.10 Kurva-S penyusutan (Sri Kusumadewi, 2003).

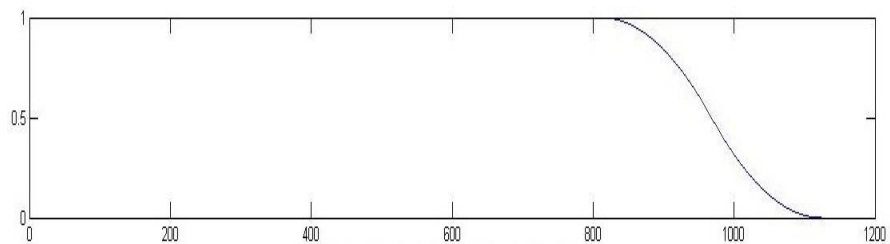
Fungsi keanggotaan untuk kurva-S penyusutan adalah

$$S(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 1; & x < \alpha \\ 1 - 2 \left(\frac{x - \alpha}{\gamma - \alpha} \right)^2; & \alpha \leq x < \beta \\ 2 \left(\frac{\gamma - x}{\gamma - \alpha} \right)^2; & \beta \leq x < \gamma \\ 0; & x > \gamma \end{cases}$$

Contoh 2.10 Himpunan *fuzzy* harga kelapa sawit HKS4 dengan universal $U = [812 \ 968.5 \ 1125]$, fungsi keanggotaannya:

$$s(x; 812, 968.5, 1125) = \begin{cases} 1; & x < 812 \\ 2 \left(\frac{968.5 - x}{968.5 - 812} \right)^2; & 812 \leq x < 968.5 \\ 1 - 2 \left(\frac{x - 968.5}{1125 - 968.5} \right)^2; & 968.5 \leq x < 1125 \\ 0; & x > 1125 \end{cases}$$

Grafik representasi dari fungsi keanggotaan tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.11



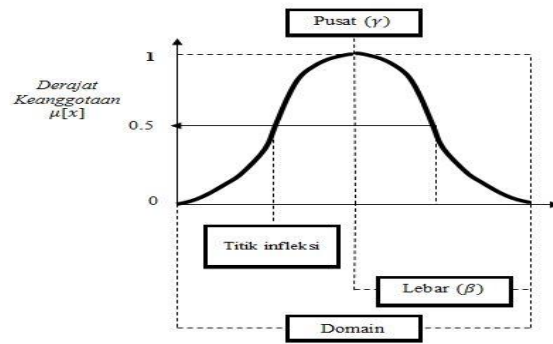
Gambar 2.11 Kurva S untuk penyusutan harga kelapa sawit HKS4

5. Representasi Kurva Bentuk Lonceng

Representasi fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* dapat menggunakan kurva berbentuk lonceng yang terbagi menjadi 3 kelas yaitu, Kurva *Pi*, Beta dan Gauss. Perbedaan dari ketiga kurva tersebut terletak pada gradiennya.

a. Kurva *Pi*

Kurva *Pi* berbentuk lonceng dengan derajat keanggotaan 1 yang terletak pada pusat domain (γ) dan dengan lebar kurva (β). Kurva *Pi* di sajikan pada Gambar 2.12.



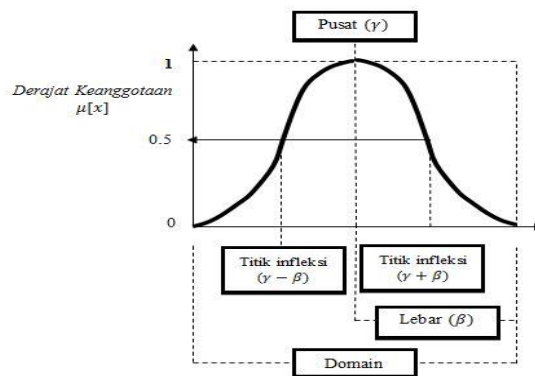
Gambar 2.12 Kurva *Pi* (Sri Kusumadewi, 2003)

Fungsi keanggotaan kurva *Pi* adalah sebagai berikut:

$$\Pi(x, \beta, \gamma) = \begin{cases} S\left(x; \gamma - \beta, \gamma - \frac{\beta}{2}, \gamma\right); & x \leq \gamma \\ 1 - S\left(x; \gamma, \gamma + \frac{\beta}{2}, \gamma + \beta\right); & x \geq \gamma \end{cases}$$

b. Kurva *Beta*

Kurva *beta* masih seperti kurva *Pi* yang berbentuk lonceng namun lebih rapat daripada kurva *Pi*. Kurva ini juga didefinisikan menggunakan 2 parameter, yaitu nilai pada domain yang menunjukkan pusat kurva (γ) dan setengah lebar kurva (β).



Gambar 2.13 Kurva *Beta* (Sri Kusumadewi, 2003)

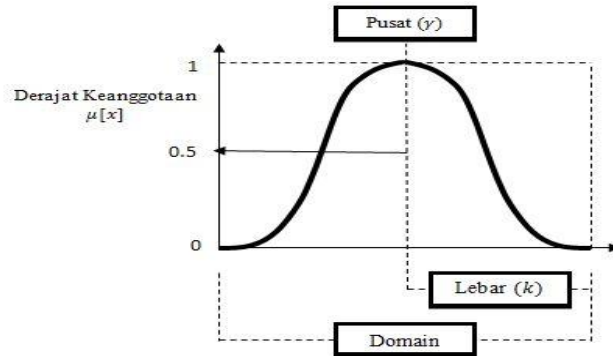
Fungsi keanggotaan kurva *beta* adalah

$$B(x; \gamma, \beta) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - \gamma}{\beta}\right)^2}$$

Perbedaan yang utama kurva *beta* dari kurva *Pi* adalah fungsi keanggotaannya kurva *beta* akan mendekati nol jika nilai (β) sangat besar.

c. Kurva GAUSS

Kurva *gauss* menggunakan parameter (γ) untuk menunjukkan nilai domain pada pusat kurva dan (k) yang menunjukkan lebar kurva seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Kurva *Gauss* (Sri Kusumadewi, 2003)

Fungsi keanggotaan kurva *gauss* adalah

$$G(x; k, \gamma) = e^{-k(\gamma-x)^2}$$

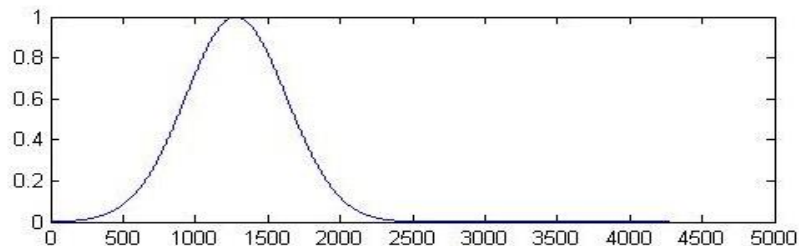
Contoh 2.11 Himpunan *fuzzy* harga kelapa sawit HKS5 dengan himpunan universal $U = [968.5 \ 1125 \ 1281]$ yang mempunyai fungsi keanggotaan:

$$G(x; 312.5, 968.5, 1281) = e^{-\frac{(x-968.5)^2}{2(156.6)^2}}$$

Akan dicari derajat keanggotaan harga kelapa sawit 1200, perhitungannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} G(312.5; 968.5, 1281) &= e^{-\frac{(x-968.5)^2}{2(312)^2}} \\ &= e^{-\frac{(1200-968.5)^2}{2(312)^2}} \\ &= 0.76 \end{aligned}$$

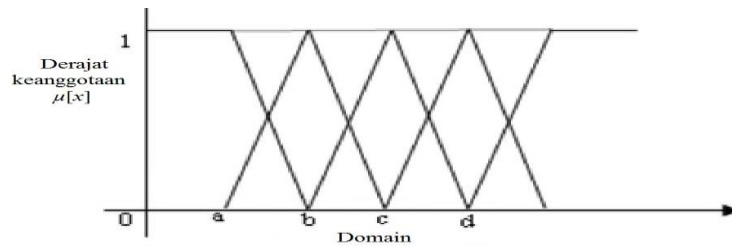
Grafik representasi fungsi keanggotaan harga kelapa sawit HKS5 yaitu:



Gambar 2.15 Kurva *gauss* untuk harga kelapa sawit HKS5

6. Representasi Kurva Bahu

Representasi fungsi keanggotaan *fuzzy* dengan menggunakan kurva bahu pada dasarnya adalah gabungan dari kurva segitiga dan kurva trapesium. Daerah yang terletak di tengah-tengah suatu variabel yang direpresentasikan dalam bentuk segitiga, pada sisi kanan dan kirinya akan naik dan turun. Namun terkadang salah satu sisi dari variabel tidak mengalami perubahan.



Gambar 2.16 Representasi kurva bahu (Sri Kusumadewi, 2003).

Contoh 2.12 Diberikan himpunan *fuzzy* harga kelapa sawit yang mempunyai 9 variabel fungsi keanggotaan antara lain {HKS1, HKS2, HKS3, HKS4, HKS5, HKS6, HKS7, HKS8, HKS9}. Himpunan universal harga kelapa sawit yaitu $U = [498.9 \ 1751]$, fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* harga kelapa sawit untuk HKS1 dan HKS2 yaitu :

$$\mu_{HKS1}(x) = \begin{cases} \frac{655.5 - x}{156.6}, & 498.9 \leq x \leq 655.5 \\ 0, & x < 498.9, x > 655.5 \end{cases}$$

$$\mu_{HKS2}(x) = \begin{cases} \frac{x - 498.9}{156.6}, & 498.9 \leq x \leq 655.5 \\ \frac{812 - x}{156.6}, & 655.5 \leq x \leq 812 \\ 0, & x < 498.9, x > 812 \end{cases}$$

F. Operator *Fuzzy*

Operator pada himpunan *fuzzy* hampir ada kesamaan juga seperti himpunan klasik, ada beberapa operasi yang didefinisikan secara khusus untuk mengkombinasi dan memodifikasi himpunan *fuzzy*. Zadeh menciptakan 3 operator dasar himpunan *fuzzy* yaitu:

1. Operator AND

Operator AND berhubungan dengan operasi interseksi pada himpunan. α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator AND yang didapat dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan yang bersangkutan. Operator AND didefinisikan sebagai berikut:

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

Contoh 2.13 Diketahui derajat keanggotaan harga kelapa sawit sebesar 533.535 pada himpunan harga kelapa sawit HKS1 sebesar 0.5381 dan pada himpunan harga kelapa sawit HKS2 sebesar 0.4619, maka:

$$\begin{aligned}\mu_{HKS1} \cap \mu_{HKS2}(533.535) &= \min(\mu_{HKS1}[533.535], \mu_{HKS2}[533.535]) \\ &= \min(0.7783, 0.2217) \\ &= 0.2217\end{aligned}$$

2. Operator OR

Operator OR berhubungan dengan operasi *union* pada himpunan. α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator OR diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar antar elemen pada himpunan yang bersangkutan. Operator OR didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A(x), \mu_B(y))$$

Contoh 2.14 Diketahui derajat keanggotaan harga kelapa sawit sebesar 533.535 pada himpunan harga kelapa sawit HKS1 sebesar 0.5381 dan pada himpunan harga kelapa sawit HKS2 sebesar 0.4619, maka:

$$\begin{aligned}\mu_{HKS1} \cup \mu_{HKS2}(533.535) &= \max(\mu_{HKS1}[533.535], \mu_{HKS2}[533.535]) \\ &= \max(0.7783, 0.2217) \\ &= 0.7783\end{aligned}$$

3. Operator NOT

Operator NOT berhubungan dengan operasi komplemen atau negasi himpunan yang berisi semua elemen yang tidak berada pada himpunan tersebut. Hasil dari operator NOT yaitu α -predikat yang diperoleh dengan mengurangi nilai keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan dimana pengurangannya dari 1. Operator NOT didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_{A'} = 1 - \mu_A(x)$$

Contoh 2.15 Misalkan derajat keanggotaan harga kelapa sawit 533.535 adalah 0.2217, maka komplemen derajat keanggotaan harga kelapa sawit pada himpunan *fuzzy* harga kelapa sawit HKS1 yaitu:

$$\begin{aligned}\mu_{E1}(533.535) &= 1 - \mu_{E1}(533.535), \forall x \in U \\ &= 1 - 0.2217 \\ &= 0.7783\end{aligned}$$

G. Fungsi Implikasi

Tiap-tiap aturan (*proporsi*) pada basis pengetahuan *fuzzy* akan berhubungan dengan suatu relasi *fuzzy*. Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi implikasi adalah (Sri Kusumadewi, 2002):

IF x is A THEN y is B

Dengan x dan y adalah skalar, sedangkan A dan B merupakan himpunan *fuzzy*. Proporsi yang mengikuti *IF* disebut sebagai *anteseden*, sedangkan proporsi yang mengikuti *THEN* disebut konsekuensi. Proporsi ini dapat diperluas dengan menggunakan penghubung *fuzzy*, seperti :

IF (x₁ is A₁) • (x₂ is A₂) • ... • (x_N is A_N) then y is B

Dengan • merupakan operator (misal : OR atau AND).

Secara umum, terdapat dua fungsi implikasi yang dapat digunakan, yaitu (Sri Kusumadewi, 2003):

1. Min (*minimum*)

Fungsi *min* akan memotong *output* himpunan *fuzzy*. Pengambilan keputusan fungsi ini, yaitu dengan cara mencari nilai minimum berdasarkan aturan ke- i dan dapat dinyatakan dengan: $\alpha_i \cap \mu_{Ci}(Z)$

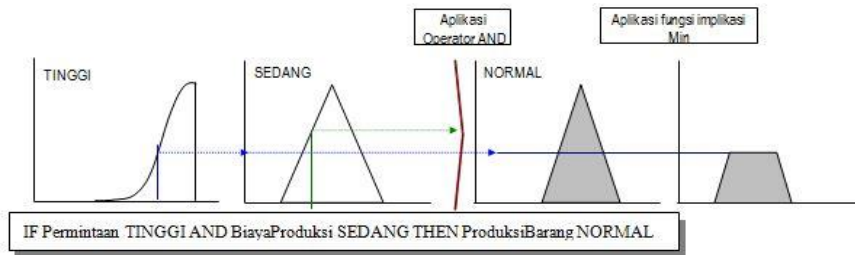
Dimana, $\alpha_i = \mu_{Ai}(x) \cap \mu_{Bi}(x) = \min\{\mu_{Ai}(x), \mu_{Bi}(x)\}$ dengan:

α_i : nilai minimum dari himpunan *fuzzy* A dan B pada aturan ke- i

$\mu_{Ai}(x)$: derajat keanggotaan x dari himpunan *fuzzy* A pada aturan ke- i

$\mu_{Bi}(x)$: derajat keanggotaan x dari himpunan *fuzzy* B pada aturan ke- i

$\mu_{Ci}(x)$: derajat keanggotaan x dari himpunan *fuzzy* C pada aturan ke- i



Gambar 2.17 Penggunaan fungsi implikasi MIN.

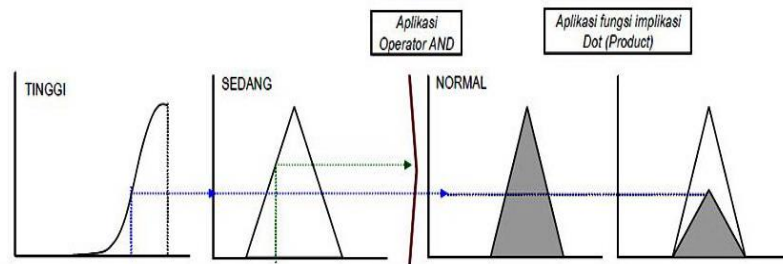
2. Dot (*product*)

Fungsi *dot* akan menskala *output* himpunan *fuzzy*. Pengambilan keputusan dengan fungsi ini didasarkan pada aturan ke-*i*, dan dinyatakan sebagai berikut :

$\alpha_i \cdot \mu_{Ci}(Z)$, dengan :

α_i : nilai minimum dari himpunan *fuzzy* A dan B pada aturan ke-*i*

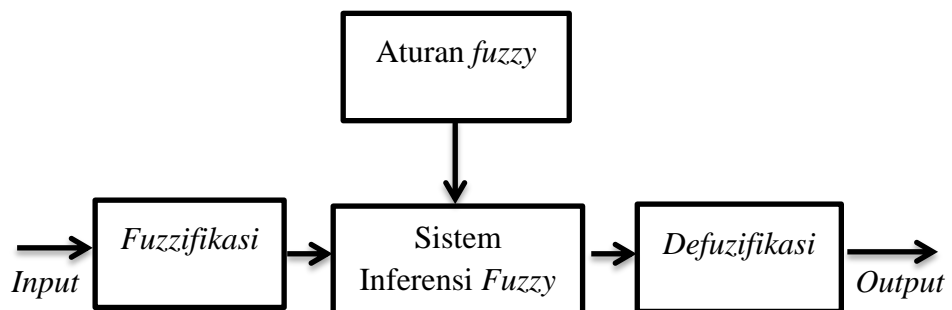
$\mu_{Ci}(x)$: derajat keanggotaan konsekuen dari himpunan *fuzzy* C pada aturan ke – *i*



Gambar 2.18 Penggunaan fungsi implikasi DOT

H. Sistem Fuzzy

Susunan sistem *fuzzy* dapat digambarkan pada diagram berikut ini:



Gambar 2.19 Sistem *fuzzy* (Li-Xin Wang (1997: 1-11))

Menurut Wang (1997), sistem *fuzzy* terdiri dari 3 tahapan, yaitu :

1. *Fuzifikasi*

Fuzzifikasi merupakan tahap pertama dari perhitungan *fuzzy*, yaitu mengubah masukan (*input*) yang berupa derajat keanggotaan. Pada tahap ini mengambil nilai-nilai *crisp* dan menentukan derajat dimana nilai-nilai tersebut menjadi anggota dari setiap himpunan *fuzzy* yang sesuai.

2. *Defuzzifikasi*

Input dari proses *defuzzifikasi* adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Sehingga, jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam *range* tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai *output*.

3. Inferensi *Fuzzy*

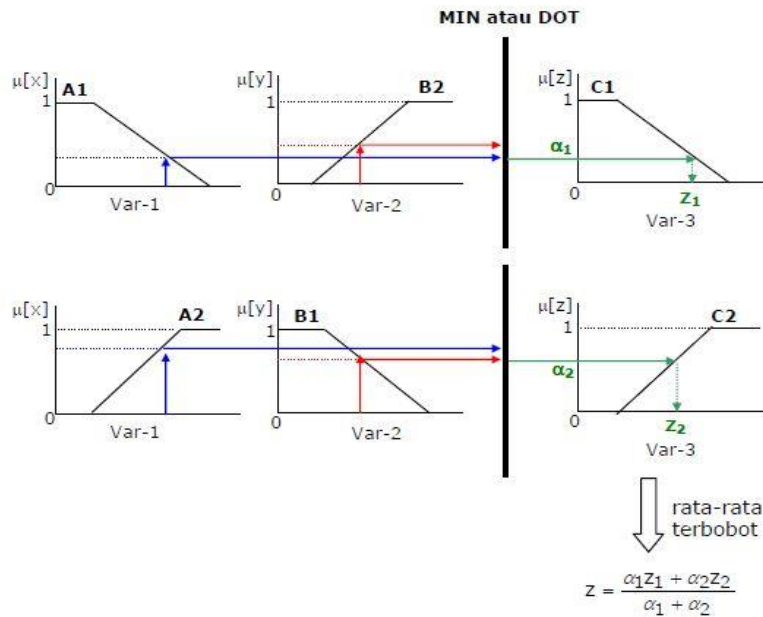
Inferensi adalah melakukan penalaran menggunakan *fuzzy input* dan aturan *fuzzy* yang telah ditentukan sehingga menghasilkan *fuzzy output*. Secara *sintaks*, suatu aturan *fuzzy* dituliskan sebagai berikut:

IF anteseden THEN konsekuen

I. Sistem Inferensi *Fuzzy*

1. Metode Tsukamoto

Pada metode Tsukamoto, setiap konsekuen pada aturan yang bentuk *IF-THEN* harus direpresentasikan dengan suatu himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang monoton. Sebagai hasilnya, *output* hasil *inferensi* dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas (*crisp*) berdasarkan α -predikat (*fire strength*). Hasil akhirnya diperoleh dengan menggunakan rata-rata terbobot (Sri Kusumadewi, 2003). Penjelasan selengkapnya berada pada gambar 2.20



Gambar 2.20 Inferensi dengan menggunakan Metode Tsukamoto

2. Metode Mamdani

Metode Mamdani sering juga dikenal dengan nama Metode *Max-Min*. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Pada sistem ini untuk mendapatkan *output* diperlukan 4 tahap, antara lain (Sri Kusumadewi, 2003):

a. Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

Pada metode Mamdani, *variabel input* dan *variabel output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*.

b. Aplikasi Fungsi *Implikasi*

Pada Metode Mamdani, fungsi *implikasi* yang digunakan adalah *Min*.

c. Komposisi Aturan

Komposisi aturan tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy*, yaitu: *max*, *additive* dan *probabilistik OR (probor)*.

1. Metode *Max (Maksimum)*

Pada metode *max* solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan dan kemudian digunakan untuk memodifikasi daerah *fuzzy* dan mengaplikasikannya ke *output* dengan menggunakan operator OR (*union/* gabungan). Jika semua proposisi telah di evaluasi maka *output* akan berisi suatu himpunan *fuzzy* yang menggambarkan kontribusi dari tiap-tiap proposisi. Secara umum dapat dituliskan, $\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \max(\mu_{sf}[x_i], \mu_{kf}[x_i])$, dengan:

$\mu_{sf}[x_i]$: derajat keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-i.

$\mu_{kf}[x_i]$: derajat keanggotaan konsekuen *fuzzy* sampai aturan ke-i.

2. Metode *Additive (Sum)*

Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan *bounded-sum* terhadap semua *output* daerah *fuzzy*. Secara umum dituliskan, $\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \min(1, \mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i])$, dengan:

$\mu_{sf}[x_i]$: derajat keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-i.

$\mu_{kf}[x_i]$: derajat keanggotaan konsekuen *fuzzy* sampai aturan ke-i

3. Metode Probabilistik OR (*Probor*)

Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan *product* terhadap semua *output* daerah *fuzzy*. Secara umum dituliskan :

$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow (\mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i]) - (\mu_{sf}[x_i] * \mu_{kf}[x_i])$, Dengan :

$\mu_{sf}[x_i]$: derajat keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-i.

$\mu_{kf}[x_i]$: derajat keanggotaan konsekuen *fuzzy* sampai aturan ke-i.

d. Defuzzifikasi

Terdapat beberapa metode *defuzzifikasi* pada komposisi aturan mamdani (Setiadji, 2009: 187) :

1. Metode *Centroid*

Pada metode ini, solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil titik pusat (z^*) daerah *fuzzy*, secara umum dirumuskan:

$$z^* = \frac{\int_Z z\mu(z)dz}{\int_Z \mu(z)dz}; \text{ untuk semesta kontinu}$$

$$z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j\mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)}; \text{ untuk semesta diskret}$$

2. Metode *Bisektor*

Pada metode ini, solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai pada sebagian domain *fuzzy* yang memiliki nilai keanggotaan. Secara umum dituliskan,

$$z_p \text{ sedemikian hingga } \int_{\mathfrak{R}^1}^p \mu(z)dz = \int_p^{\mathfrak{R}^n} \mu(z)dz$$

3. Metode *Mean Of Maximum (MOM)*

Pada metode ini, solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

4. Metode *Largest Of Maximum (LOM)*

Pada metode ini, solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

5. Metode *Smallest Of Maximum (SOM)*

Pada metode ini, solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

3. Metode Sugeno

Metode Sugeno hampir sama dengan metode Mamdani, hanya saja metode ini mempunyai konsekuen bukan merupakan himpunan *fuzzy* melainkan berupa konstanta atau persamaan linear dengan variabel-variabel yang disesuaikan dengan *variabel input*. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985. Metode Sugeno mempunyai 2 macam model, yaitu (Sri Kusumadewi, 2003:194):

1. Model Sugeno Orde Nol

Secara umum bentuk Model Sugeno orde nol adalah

if (x_i is A_1) • (x_2 is A_2) • ... • (x_i is A_i) *then* $z = k$; dengan

A_i = himpunan *fuzzy* ke-i pada variabel x_i sebagai *anteseden*

k = konstanta tegas sebagai konsekuen

• = operator *fuzzy*

2. Model Sugeno Orde Satu

Secara umum bentuk model *fuzzy* Sugeno orde satu adalah

if (x_i is A_1) • (x_2 is A_2) • ... • (x_i is A_i) *then*

$$= p_1x_1 + \dots + p_ix_i + q$$

dengan:

A_i = himpunan *fuzzy* ke-i pada variabel x_i sebagai anteseden.

p_i = konstanta tegas ke-i pada variabel x_i .

q = konstanta tegas sebagai konsekuen.

• = operator *fuzzy*.

Model Sugeno orde nol dan orde satu mempunyai langkah yang sama sampai tahap *fuzifikasi*. Perbedaannya setelah *fuzifikasi*, model Sugeno orde nol membentuk *inferensi fuzzy* dan orde satu membentuk persamaan linier berganda. Persamaan linier berganda Metode Sugeno orde satu yaitu:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k, \text{ atau}$$

$$\hat{Y} = p_1x_1 + p_2x_2 + \dots + p_ix_i + q$$

Selanjutnya untuk mendapatkan nilai tegas sebagai *output* dilakukan dengan proses *agregasi* dan *defuzzifikasi* dengan mencari nilai rata-ratanya.

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i z_i}{\sum_{i=1}^n z_i}$$

dengan:

Z = nilai *output*.

α_i = nilai α predikat untuk aturan ke-i.

Z_i = nilai *output* untuk aturan ke-i.

3. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah komponen penting dalam pemodelan sistem *fuzzy*. *Defuzzifikasi* digunakan untuk menghasilkan nilai variabel solusi yang diinginkan dari suatu daerah konsekuen *fuzzy* (Setiadji, 2009 : 187). *Defuzzifikasi* Sugeno menggunakan *weight average* (WA) dengan perhitungan sebagai berikut:

$$WA = \frac{\alpha_1 Z_1 + \alpha_2 Z_2 + \alpha_3 Z_3 + \dots + \alpha_n Z_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_n}$$

dengan:

WA= hasil *defuzzifikasi*.

α_n = nilai predikat (hasil inferensi) pada aturan ke-n.

Z_n = nilai *output* (konstanta) pada aturan ke-n.

J. Mean Square Error (MSE) & Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Prediksi merupakan hal yang mengandung ketidakpastian, maka diperlukan suatu kriteria untuk menentukan kebaikan model prediksi. Kebaikan tersebut berdasarkan nilai *error* dari sebuah prediksi. *Error* adalah nilai yang didapat dengan mengurangi nilai aktual dengan nilai prediksi. Persamaannya sebagai berikut (Hanke dan Winchern, 2005:79):

$$e_i = Y_i - \hat{Y}_i$$

dengan , e_i : *error* peramalan pada saat t ke-i

Y_i : nilai aktual data ke-i

\hat{Y}_i : nilai peramalan dari \hat{Y}_i

1. Mean Square error (MSE)

MSE merupakan kriteria prediksi dengan mengkuadratkan setiap *error* dan dibagi sebanyak jumlah data. Kriteria ini memberikan nilai yang besar pada *error* yang besar dan nilai yang kecil untuk *error* yang kecil, karena masing-masing *error* dikuadratkan terlebih dahulu. Adapun rumus untuk menghitung MSE adalah:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2$$

dengan,

e_i : *error* ke- i .

n : banyaknya data.

2. Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

MAPE merupakan rata-rata dari keseluruhan persentase kesalahan antara data aktual dengan data prediksi. Ukuran akurasi dicocokkan dengan data *time series* dan ditunjukkan dalam persentase. Dihitung dengan menggunakan kesalahan *absolut* pada tiap periode dibagi dengan banyaknya jumlah data. Persentase MAPE menyatakan besarnya tingkat kesalahan dalam suatu prediksi. Misalkan nilai MAPE 5% menunjukkan bahwa tingkat kesalahan dalam memprediksi adalah 5%. Adapun rumus MAPE adalah sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{e_t}{Y_t} \right|$$

dengan,

e_t : *error* ke- t .

n : banyaknya data.

Kedua kriteria tersebut merupakan beberapa kriteria tolak ukur keakuratan suatu model. Model yang baik memiliki nilai MAPE dan MSE yang kecil. Semakin kecil nilai MSE dan MAPE maka keakuratan model semakin baik, sebaliknya jika nilai MSE dan MAPE semakin besar maka model semakin kurang akurat.

K. Langkah-Langkah Model *Fuzzy* Metode Sugeno

Langkah – langkah yang akan dilakukan untuk melakukan prediksi harga kelapa sawit (TBS) menggunakan model *fuzzy* metode Sugeno adalah sebagai berikut (Sri Kusumadewi dan Hari Purnomo, 2013):

1. Identifikasi Data

Untuk melakukan identifikasi data yaitu menentukan data yang akan dipakai dalam pembahasan dimana data yang dipakai dalam tugas akhir ini yaitu harga kelapa sawit, minyak kelapa sawit, produksi kelapa sawit.

2. Menentukan Himpunan *Input*

Menentukan himpunan universal pada *input* berguna untuk memberi batasan himpunan untuk prediksi yang akan dilakukan.

3. Menentukan Himpunan *Output*

Output yang akan digunakan pada penelitian ini adalah harga kelapa sawit yang didasarkan *input* yang telah ditentukan.

4. Menentukan Himpunan Universal

Himpunan universal pada penelitian ini terbagi menjadi dua jenis yaitu himpunan universal *input* dan himpunan universal *output*.

5. Menentukan Himpunan *Fuzzy Input* Dan *Output*

Menentukan himpunan *fuzzy input* dan *output* bertujuan untuk memberi variabel dan menentukan batasan yang telah disesuaikan.

6. Menentukan Aturan *Fuzzy*

Fuzzifikasi merupakan lanjutan tahap dari pembentukan aturan *fuzzy*, atau sering juga diartikan proses perubahan nilai tegas menjadi nilai *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan.

7. Melakukan Inferensi

Proses inferensi pada Sistem *fuzzy* Sugeno merupakan proses mengevaluasi *output* untuk setiap aturan yang dihubungkan dengan aturan *IF-THEN*.

8. Melakukan *Defuzzifikasi*

Proses melakukan *defuzzifikasi* bertujuan untuk menentukan *output* pada prediksi *fuzzy* metode Sugeno. Melakukan prediksi dengan menggunakan metode Sugeno tahap *defuzzifikasi* menggunakan *weighted average*.

9. Menentukan MSE Dan MAPE

Menentukan MSE dan MAPE berguna untuk pengukur besarnya kesalahan suatu model.