

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Pengertian B3**

Menurut PP No. 18 tahun 1999, yang dimaksud dengan limbah B3 adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan atau beracun yang karena sifat dan atau konsentrasinya dan atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan atau merusak lingkungan hidup dan atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain.

Intinya adalah setiap materi yang karena konsentrasi dan atau sifat dan atau jumlahnya mengandung B3 dan membahayakan manusia, makhluk hidup dan lingkungan, apapun jenis sisa bahannya. Definisi limbah B3 berdasarkan BAPEDAL (1995) ialah setiap bahan sisa (limbah) suatu kegiatan proses produksi yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3) karena sifat (*toxicity, flammability, reactivity, dan corrosivity*) serta konsentrasi atau jumlahnya yang baik secara langsung maupun tidak langsung dapat merusak, mencemarkan lingkungan, atau membahayakan kesehatan manusia.

##### **2.1.1. Tujuan pengelolaan limbah B3**

Tujuan pengelolaan B3 adalah untuk *mencegah* dan *menanggulangi* pencemaran atau kerusakan lingkungan hidup yang diakibatkan oleh limbah B3 serta melakukan pemulihan kualitas lingkungan yang sudah tercemar sehingga sesuai dengan fungsinya kembali. (<http://limbahb3-limbahb3.blogspot.com/2010/05/limbah-b3.html> 2010)

Dari hal ini jelas bahwa setiap kegiatan/usaha yang berhubungan dengan B3, baik penghasil, pengumpul, pengangkut, pemanfaat, pengolah

dan penimbun B3, harus memperhatikan aspek lingkungan dan menjaga kualitas lingkungan tetap pada kondisi semula. Dan apabila terjadi pencemaran akibat tertumpah, tercecer dan rembesan limbah B3, harus dilakukan upaya optimal agar kualitas lingkungan kembali kepada fungsi semula.

### 2.1.2. Teknologi Pengolahan

Terdapat banyak metode pengolahan suatu limbah B3 di industri, tiga metode yang paling populer di antaranya ialah *chemical conditioning*, *solidification/Stabilization*, dan *incineration*.

#### 1. *Chemical Conditioning*

Salah satu teknologi pengolahan limbah B3 ialah *chemical conditioning*. Tujuan utama dari *chemical conditioning* ialah:

- a) menstabilkan senyawa-senyawa organik yang terkandung di dalam lumpur
- b) mereduksi volume dengan mengurangi kandungan air dalam lumpur
- c) mendestruksi organisme patogen
- d) memanfaatkan hasil samping proses *chemical conditioning* yang masih memiliki nilai ekonomi seperti gas methane yang dihasilkan pada proses *digestion*
- e) mengkondisikan agar lumpur yang dilepas ke lingkungan dalam keadaan aman dan dapat diterima lingkungan

*Chemical conditioning* terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

##### 1. *Concentration thickening*

Tahapan ini bertujuan untuk mengurangi volume lumpur yang akan diolah dengan cara meningkatkan kandungan padatan. Alat yang umumnya digunakan pada tahapan ini ialah *gravity thickener* dan *solid bowl centrifuge*. Tahapan ini pada dasarnya merupakan tahapan awal sebelum limbah dikurangi kadar airnya pada tahapan

*de-watering* selanjutnya. Walaupun tidak sepopuler *gravity thickener* dan *centrifuge*, beberapa unit pengolahan limbah menggunakan proses *flotation* pada tahapan awal ini.

## 2. *Treatment, stabilization, and conditioning*

Tahapan kedua ini bertujuan untuk menstabilkan senyawa organik dan menghancurkan patogen. Proses stabilisasi dapat dilakukan melalui proses pengkondisian secara kimia, fisika, dan biologi. Pengkondisian secara kimia berlangsung dengan adanya proses pembentukan ikatan bahan-bahan kimia dengan partikel koloid. Pengkondisian secara fisika berlangsung dengan jalan memisahkan bahan-bahan kimia dan koloid dengan cara pencucian dan destruksi. Pengkondisian secara biologi berlangsung dengan adanya proses destruksi dengan bantuan enzim dan reaksi oksidasi. Proses-proses yang terlibat pada tahapan ini ialah *lagooning*, *anaerobic digestion*, *aerobic digestion*, *heat treatment*, *polyelectrolite flocculation*, *chemical conditioning*, dan *elutriation*.

## 3. *De-watering and drying*

*De-watering and drying* bertujuan untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan air dan sekaligus mengurangi volume lumpur. Proses yang terlibat pada tahapan ini umumnya ialah pengeringan dan filtrasi. Alat yang biasa digunakan adalah *drying bed*, *filter press*, *centrifuge*, *vacuum filter*, dan *belt press*.

## 4. *Disposal*

Disposal ialah proses pembuangan akhir limbah B3. Beberapa proses yang terjadi sebelum limbah B3 dibuang ialah *pyrolysis*, *wet air oxidation*, dan *composting*. Tempat pembuangan akhir limbah B3 umumnya ialah *sanitary landfill*, *crop land*, atau *injection well*.

## 2. Solidification/Stabilization

Di samping *chemical conditioning*, teknologi *solidification / stabilization* juga dapat diterapkan untuk mengolah limbah B3. Secara umum stabilisasi dapat didefinisikan sebagai proses pencampuran limbah dengan bahan tambahan (aditif) dengan tujuan menurunkan laju migrasi bahan pencemar dari limbah serta untuk mengurangi toksisitas limbah tersebut. Sedangkan solidifikasi didefinisikan sebagai proses pemadatan suatu bahan berbahaya dengan penambahan aditif. Kedua proses tersebut seringkali terkait sehingga sering dianggap mempunyai arti yang sama. Proses solidifikasi/stabilisasi berdasarkan mekanismenya dapat dibagi menjadi 6 golongan, yaitu:

1. *Macroencapsulation*, yaitu proses dimana bahan berbahaya dalam limbah dibungkus dalam matriks struktur yang besar
2. *Microencapsulation*, yaitu proses yang mirip *macroencapsulation* tetapi bahan pencemar terbungkus secara fisik dalam struktur kristal pada tingkat mikroskopik
3. *Precipitation*
4. *Adsorpsi*, yaitu proses dimana bahan pencemar diikat secara elektrokimia pada bahan pematat melalui mekanisme adsorpsi.
5. *Absorpsi*, yaitu proses solidifikasi bahan pencemar dengan menyerapkannya ke bahan padat
6. *Detoxification*, yaitu proses mengubah suatu senyawa beracun menjadi senyawa lain yang tingkat toksisitasnya lebih rendah atau bahkan hilang sama sekali

Teknologi solidifikasi/stabilisasi umumnya menggunakan semen, kapur ( $\text{CaOH}_2$ ), dan bahan termoplastik. Metoda yang diterapkan di lapangan ialah metoda *in-drum mixing*, *in-situ mixing*, dan *plant mixing*. Peraturan mengenai solidifikasi/stabilisasi diatur oleh

BAPEDAL berdasarkan Kep-03/BAPEDAL/09/1995 dan Kep-04/BAPEDAL/09/1995.

### **3. Proses Pembakaran (Inceneration) Limbah B3**

Limbah B3 kebanyakan terdiri dari karbon, hydrogen dan oksigen. Dapat juga mengandung halogen, sulfur, nitrogen dan logam berat. Hadirnya elemen lain dalam jumlah kecil tidak mengganggu proses oksidasi limbah B3. Struktur molekul umumnya menentukan bahaya dari suatu zat organik terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Bila molekul limbah dapat dihancurkan dan diubah menjadi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), air dan senyawa anorganik, tingkat senyawa organik akan berkurang. Untuk penghancuran dengan panas merupakan salah satu teknik untuk mengolah limbah B3.

Inceneration adalah alat untuk menghancurkan limbah berupa pembakaran dengan kondisi terkendali. Limbah dapat terurai dari senyawa organik menjadi senyawa sederhana seperti  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Incenerator efektif terutama untuk buangan organik dalam bentuk padat, cair, gas, lumpur cair dan lumpur padat. Proses ini tidak biasa digunakan limbah organik seperti lumpur logam berat (heavy metal sludge) dan asam anorganik. Zat karsinogenik patogenik dapat dihilangkan dengan sempurna bila insenerator dioperasikan I. Incenerator memiliki kelebihan, yaitu dapat menghancurkan berbagai senyawa organik dengan sempurna, tetapi terdapat kelemahan yaitu operator harus yang sudah terlatih. Selain itu biaya investasi lebih tinggi dibandingkan dengan metode lain dan potensi emisi ke atmosfer lebih besar bila perencanaan tidak sesuai dengan kebutuhan operasional

## **2.2. Unsur Senyawa Yang Digunakan Pengolahan Limbah B3**

Senyawa kimia adalah zat kimia murni yang terdiri dari dua atau beberapa unsur yang dapat dipecah-pecah lagi menjadi unsur-unsur pembentuknya dengan reaksi kimia tersebut. Contohnya, dihidrogen

monoksida (air, H<sub>2</sub>O) adalah sebuah senyawa yang terdiri dari dua atom hidrogen untuk setiap atom oksigen. Umumnya, perbandingan ini harus tetap karena sifat fisiknya, bukan perbandingan yang dibuat oleh manusia. Oleh karena itu, material seperti kuningan, superkonduktor YBCO, semikonduktor "aluminium galium arsenida", atau coklat dianggap sebagai campuran atau aloy, bukan senyawa. Ciri-ciri yang membedakan senyawa adalah adanya rumus kimia. Rumus kimia memberikan perbandingan atom dalam zat, dan jumlah atom dalam molekul tunggalnya (oleh karena itu rumus kimia etena adalah C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> dan bukan CH<sub>2</sub>. Rumus kimia tidak menyebutkan apakah senyawa tersebut terdiri atas molekul; contohnya, natrium klorida (garam dapur, NaCl adalah senyawa ionik. Senyawa dapat wujud dalam beberapa fase. Kebanyakan senyawa dapat berupa zat padat. Senyawa molekuler dapat juga berupa cairan atau gas. Semua senyawa akan terurai menjadi senyawa yang lebih kecil atau atom individual bila dipanaskan sampai suhu tertentu (yang disebut suhu penguraian). Setiap senyawa kimia yang telah dijelaskan dalam literatur memiliki nomor pengenal yang unik, yaitu nomor CAS.. Berikut beberapa senyawa yang digunakan sebagai proses pengolahan limbah B3 ([http://id.wikipedia.org/wiki/Senyawa\\_kimia\\_2104](http://id.wikipedia.org/wiki/Senyawa_kimia_2104)) :

**a. Kalsium hidroksida Ca(OH)<sub>2</sub>**

adalah senyawa kimia dengan rumus kimia Ca(OH)<sub>2</sub>. Kalsium hidroksida dapat berupa kristal tak berwarna atau bubuk putih. Kalsium hidroksida dihasilkan melalui reaksi kalsium oksida (CaO) dengan air. Senyawa ini juga dapat dihasilkan dalam bentuk endapan melalui pencampuran larutan kalsium klorida (CaCl<sub>2</sub>) dengan larutan natrium hidroksida (NaOH). Dalam bahasa Inggris, kalsium hidroksida juga dinamakan *slaked lime*, atau *hydrated lime* (kapur yang di-airkan). Nama mineral Ca(OH)<sub>2</sub> adalah *portlandite*, karena senyawa ini dihasilkan melalui pencampuran air dengan semen Portland. Suspensi partikel halus kalsium hidroksida dalam

air disebut juga *milk of lime* (Bahasa Inggris: *milk*=susu, *lime*=kapur). Larutan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  disebut air kapur dan merupakan basa dengan kekuatan sedang. Larutan tersebut bereaksi hebat dengan berbagai asam, dan bereaksi dengan banyak logam dengan adanya air. Larutan tersebut menjadi keruh bila dilewatkan karbon dioksida, karena mengendapnya kalsium karbonat. Pada  $512\text{ }^\circ\text{C}$ , kalsium hidroksida terurai menjadi kalsium oksida dan air. ([http://id.wikipedia.org/wiki/Kalsium\\_hidroksida](http://id.wikipedia.org/wiki/Kalsium_hidroksida) 2014)

#### Kegunaan

Karena kekuatan sifat basanya, kalsium hidroksida banyak digunakan sebagai

- *Flocculant* pada air, pengolahan limbah, serta pengelolaan tanah asam.
- Bahan alkali untuk menggantikan natrium hidroksida

#### **b. Natrium hidroksida (NaOH),**

juga dikenal sebagai soda kaustik, soda api, atau sodium hidroksida, adalah sejenis basa logam kaustik. Natrium Hidroksida terbentuk dari oksida basa Natrium Oksida dilarutkan dalam air. Natrium hidroksida membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan ke dalam air. Ia digunakan di berbagai macam bidang industri, kebanyakan digunakan sebagai basa dalam proses produksi bubur kayu dan kertas, tekstil, air minum, sabun dan deterjen. Natrium hidroksida adalah basa yang paling umum digunakan dalam laboratorium kimia. Natrium hidroksida murni berbentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk pelet, serpihan, butiran ataupun larutan jenuh 50% yang biasa disebut larutan Sorensen. Ia bersifat lembap cair dan secara spontan menyerap karbon dioksida dari udara bebas. Ia sangat larut dalam air dan akan melepaskan panas ketika dilarutkan, karena pada proses

pelarutannya dalam air bereaksi secara eksotermis. Ia juga larut dalam etanol dan metanol, walaupun kelarutan NaOH dalam kedua cairan ini lebih kecil daripada kelarutan KOH. Ia tidak larut dalam dietil eter dan pelarut non-polar lainnya. Larutan natrium hidroksida akan meninggalkan noda kuning pada kain dan kertas.

( [http://id.wikipedia.org/wiki/Natrium\\_hidroksida](http://id.wikipedia.org/wiki/Natrium_hidroksida) 2014)

**c. Tawas (Alum)**

adalah kelompok garam rangkap berhidrat berupa kristal dan bersifat isomorf. Kristal tawas ini cukup mudah larut dalam air, dan kelarutannya berbeda-beda tergantung pada jenis logam dan suhu. Alum merupakan salah satu senyawa kimia yang dibuat dari dari molekul air dan dua jenis garam, salah satunya biasanya  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Alum kalium, juga sering dikenal dengan alum, mempunyai rumus formula yaitu  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ .<sup>[1]</sup> Alum kalium merupakan jenis alum yang paling penting. Alum kalium merupakan senyawa yang tidak berwarna dan mempunyai bentuk kristal oktahedral atau kubus ketika kalium sulfat dan aluminium sulfat keduanya dilarutkan dan didinginkan. Larutan alum kalium tersebut bersifat asam. Alum kalium sangat larut dalam air panas. Ketika kristalin alum kalium dipanaskan terjadi pemisahan secara kimia, dan sebagian garam yang terdehidrasi terlarut dalam air.

**Penggunaan :**

Tawas telah dikenal sebagai flocculator yang berfungsi untuk menggumpalkan kotoran-kotoran pada proses penjernihan air. Tawas sering sebagai penjernih air ,kekeruhan dalam air dapat dihilangkan melalui penambahan sejenis bahan kimia yang disebut koagulan. Pada umumnya bahan seperti Aluminium sulfat [ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ] atau sering disebut alum atau tawas, fero sulfat, Poly Aluminium Chlorida (PAC) dan poli elektrolit organik

dapat digunakan sebagai koagulan. Untuk menentukan dosis yang optimal, koagulan yang sesuai dan pH yang akan digunakan dalam proses penjernihan air, secara sederhana dapat dilakukan dalam laboratorium dengan menggunakan tes yang sederhana (Alearts & Santika, 1984). Prinsip penjernihan air adalah dengan menggunakan stabilitas partikel-partikel bahan pencemar dalam bentuk koloid. Tawas sebagai koagulan di dalam pengolahan air maupun limbah. Sebagai koagulan alum sulfat sangat efektif untuk mengendapkan partikel yang melayang baik dalam bentuk koloid maupun suspensi. (<http://id.wikipedia.org/wiki/Tawas> 2014 )

#### **d. Polimer**

Polimer didefinisikan sebagai substansi yang terdiri dari molekul-molekul yang menyertakan rangkaian satu atau lebih dari satu unit monomer. Polimer merupakan molekul raksasa (makromolekul) yang merupakan gabungan dari monomer - monomer. polimer mempunyai massa molekul relatif yang sangat besar, yaitu sekitar 500-10.000 kali berat molekul unit ulangnya. istilah polimer berasal dari bahasa Yunani, polys = banyak dan meros = bagian, yang berarti banyak bagian atau banyak monomer. Dua jenis polimerisasi:

1. Polimerisasi adisi: polimer yang terbentuk melalui reaksi adisi dari berbagaimonomer

Contoh polimer adisi: Yang termasuk ke dalam polimer adisi adalah polistirena (karet ban), polietena (plastik),

2. Polimerisasi kondensasi: polimer yang terbentuk karena monomer-monomer saling berikatan dengan melepaskan molekul kecil. Contoh: pembentukan plastik stirofoam tersusun dari dua monomer berbeda yaitu urea dan metanal. Dua molekul metanal bergabung dengan satu molekul urea menjadi suatu molekul disebut dimer.

Berdasarkan asal polimer:

- a. Polimer alam: polimer yang tersedia secara alami di alam. Contoh: karet alam (dari monomer-monomer 2-metil-1,3-butadiena/isoprena), selulosa (dari monomer-monomer glukosa), protein (dari monomer-monomer asam amino), amilum, asam nukleat.
- b. Polimer sintetik: polimer buatan hasil sintetis indukstri/pabrikan. Contoh: nilon (dari asam adipat dengan heksametilena), PVC (dari vinil klorida), polietilena, poliester (dari diasil klorida dengan alkanadiol) (<http://chellme.blogspot.com/2012/07/pengertian-polimer-sampai-contoh.html#sthash.6kPoGxqK.dpuf>)

### 2.3. Logika Fuzzy

Konsep logika fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Professor Lotfi A.Zadeh dari Universitas California, pada bulan Juni 1965. Fuzzy secara bahasa diartikan sebagai kabur atau samar – samar. Fuzzy merupakan suatu nilai yang dapat bernilai benar atau salah secara bersamaan. Namun seberapa besar nilai kebenaran dan kesalahannya tergantung pada derajat keanggotaan yang dimilikinya. Derajat keanggotaan dalam fuzzy memiliki rentang nilai 0 (nol) hingga 1(satu). Hal ini berbeda dengan himpunan tegas yang memiliki nilai 1 atau 0 (ya atau tidak). Logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output. Sebagai contoh:

1. Pelayan restoran memberikan pelayanan terhadap tamu, kemudian tamu akan memberikan tip yang sesuai atas baik tidaknya pelayan yang diberikan;
2. Anda mengatakan pada saya seberapa sejuk ruangan yang anda inginkan, saya akan mengatur putaran kipas yang ada pada ruangan.
3. Penumpang taksi berkata pada sopir taksi seberapa cepat laju kendaraan yang diinginkan, sopir taksi akan mengatur pijakan gas taksinya.

Adapun alasan digunakannya logika fuzzy adalah sebagai berikut (Kusumadewi & Purnomo 2003) :

- a. Konsep logika fuzzy mudah dimengerti. Konsep matematis yang mendasari penalaran fuzzy sangat sederhana dan mudah dimengerti.
- b. Logika fuzzy sangat fleksibel.
- c. Logika fuzzy memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.
- d. Logika fuzzy mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinear yang sangat kompleks.
- e. Logika fuzzy dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
- f. Logika fuzzy dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
- g. Logika fuzzy didasarkan pada bahasa alami.

### 2.3.1. Operator Fuzzy

Untuk merelasikan antar himpunan fuzzy, dibutuhkan suatu operator. Operator dasar fuzzy terdiri atas (Earl 1994) :

$$\text{Interseksi} \quad \mu \quad \min(\mu_A[x], \mu_B[y]). \quad (1)$$

$$\text{Union} \quad \mu \quad \max(\mu_A[x], \mu_B[y]). \quad (2)$$

$$\text{Komplemen} \quad \mu \quad 1-\mu_A[x] \quad (3)$$

Selain operator dasar, dapat juga digunakan operator dengan transformasi aritmatika seperti (Earl, 1994): operator *mean* (*and* dan *or*), *intensified mean*, *diluted mean*, *product*, *bounded product*, *bounded sum*, *drastic product*, *concentration*, *dilation*, dan *intensification*.

### 2.3.2. Himpunan Fuzzy

Dalam himpunan biasa (*crisp set*) keanggotaan setiap elemen himpunan *universal* pada suatu himpunan dinyatakan dengan anggota atau bukan anggota himpunan tersebut. Keanggotaan ini diberikan oleh

suatu fungsi yang disebut fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan memberikan nilai 1 untuk menyatakan anggota dan 0 untuk menyatakan bukan anggota.

Himpunan *fuzzy* merupakan pengembangan dari himpunan biasa. Fungsi keanggotaannya tidak hanya memberikan nilai 0 dan 1, tapi nilai yang berada pada suatu selang tertentu, biasanya dalam selang  $[0,1]$ , sehingga suatu elemen dapat memiliki derajat keanggotaan 0, 0.2 atau 1. Nilai yang diberikan oleh fungsi keanggotaan disebut derajat keanggotaan (*degree of membership*). Dengan  $\mu_A(u)$  adalah fungsi keanggotaan yang memberikan nilai derajat keanggotaan  $u$  terhadap himpunan *fuzzy*  $A$ , yaitu :  $\mu_A : U \rightarrow [0,1]$ . Misalkan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy*  $A$  seperti terlihat pada Gambar 2.4. Dari Gambar 2.4 dapat diketahui bahwa  $\mu_A(1.1) = 0.10$ , dan  $\mu_A(2.25) = 0$ .

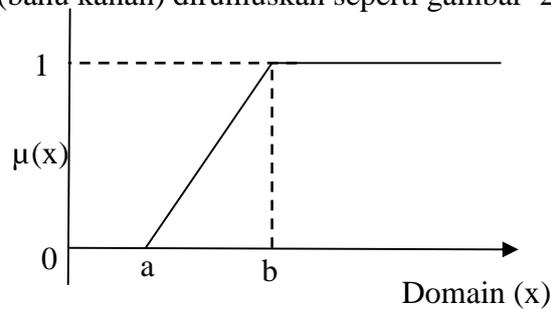
### 2.3.3. Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Ada dua cara mendefinisikan keanggotaan himpunan *fuzzy*, yaitu secara numeris dan fungsional. Definisi numeris menyatakan fungsi derajat keanggotaan sebagai vector jumlah yang tergantung pada tingkat diskretisasi. Misalnya, jumlah elemen diskret dalam semesta pembicaraan. Definisi Fungsional menyatakan derajat Keanggotaan. batasan ekspresi analitis yang dapat dihitung. Standar atau ukuran tertentu pada fungsi keanggotaan secara umum berdasar atas semesta  $X$  bilangan real (Kusumadewi & Purnomo 2003) :

#### 1. Representasi Linear

Ada 2 kemungkinan himpunan fuzzy linear yaitu: Kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat

keanggotaan nol [0] bergerak kekanan menuju nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi. Fungsi linear naik (bahu kanan) dirumuskan seperti gambar 2.1 :



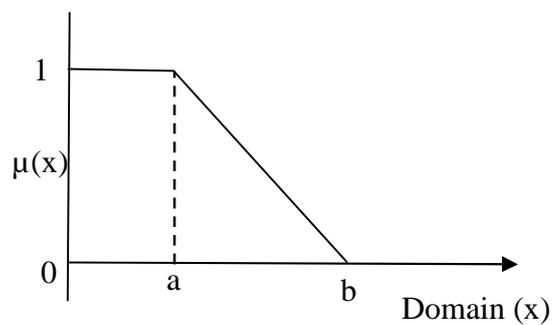
**Gambar 2.1.** Himpunan Fuzzy Linear Naik.

Sumber : kusumadewi & Purnomo 2003

Fungsi Keanggotaan dari linear naik adalah

$$\begin{cases} 0; & x < a \\ (x-a) / (b-a) & a \leq x \leq b \\ 1; & x > b \end{cases}$$

Fungsi linear turun (bahu kiri) dirumuskan seperti gambar 2.2 dibawah ini:



**Gambar 2.2** Himpunan Fuzzy Linear Turun.

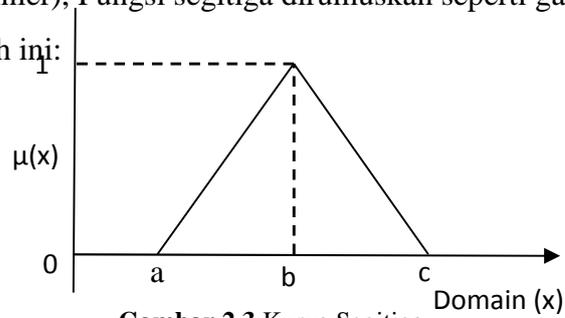
Sumber : Kusumadewi & Purnomo 2003

Fungsi Keanggotaan dari linear turun adalah

$$\begin{cases} 1; & x < a \\ (b-x) / (b-a) & a \leq x \leq b \\ 0; & x > b \end{cases}$$

2. Representasi Kurva Segitiga

Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis (linier), Fungsi segitiga dirumuskan seperti gambar 2.3 dibawah ini:



Gambar 2.3 Kurva Segitiga

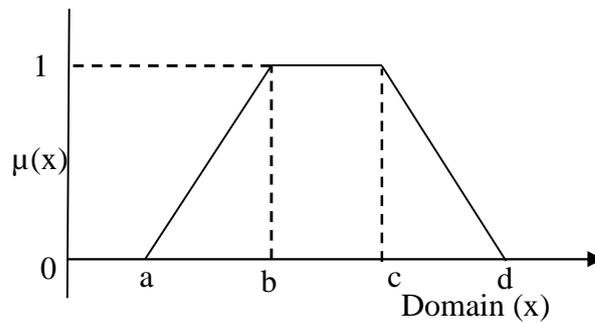
Sumber : Kusumadewi & Purnomo 2003

Fungsi Keanggotaan dari Segitiga adalah

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

3. Representasi Kurva Trapesium

Kurva segitiga pada dasarnya seperti titik yang memiliki nilai keanggotaan 1



Gambar 2.4 Kurva Trapesium

Sumber : Kusumadewi & Purnomo 2003

Fungsi Keanggotaan dari Trapesium adalah

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

### 2.3.4. Fungsi Implikasi

Tiap-tiap aturan (proposisi) pada basis pengetahuan fuzzy akan berhubungan dengan suatu relasi fuzzy. Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi implikasi adalah:

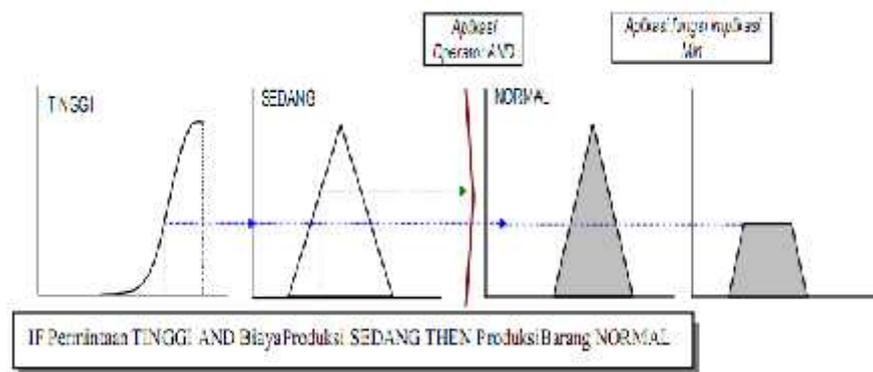
IF x is A THEN y is B

Dengan x dan y adalah skalar, dan A dan B adalah himpunan fuzzy. Proposisi yang mengikuti IF disebut sebagai anteseden, sedangkan proposisi yang mengikuti THEN disebut sebagai konsekuen. Proposisi ini dapat diperluas dengan menggunakan operator fuzzy, seperti:

IF (x<sub>1</sub> is A<sub>1</sub>) • (x<sub>2</sub> is A<sub>2</sub>) • (x<sub>3</sub> is A<sub>3</sub>) • ..... • (x<sub>N</sub> is A<sub>N</sub>) THEN y is B

dengan • adalah operator (misal: OR atau AND). Secara umum, ada 2 fungsi implikasi yang dapat digunakan, yaitu:

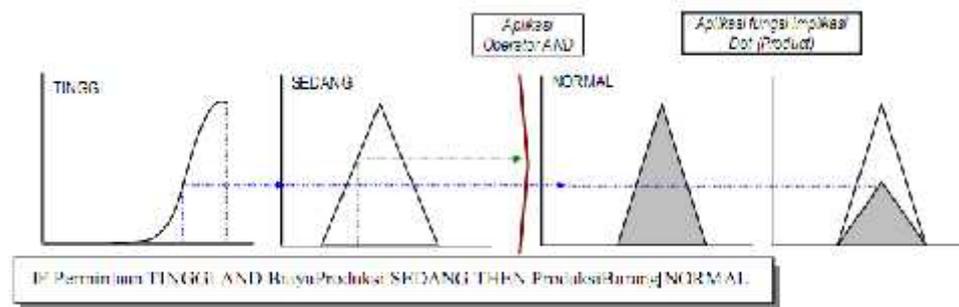
- Min (minimum). Fungsi ini akan memotong output himpunan fuzzy. Gambar 2.5 menunjukkan salah satu contoh penggunaan fungsi min.



**Gambar 2.5** Fungsi Implikasi min

*Sumber : Kusumadewi & Purnomo 2003*

- Dot (product). Fungsi ini akan menskala output himpunan fuzzy. Gambar 2.6 menunjukkan salah satu contoh penggunaan fungsi dot.



**Gambar 2.6** Fungsi Implikasi dot

Sumber : Kusumadewi & Purnomo 2003

### 2.3.5. Fuzzifikasi

*Fuzzifikasi* adalah fase pertama dari perhitungan *fuzzy* yaitu perubahan nilai tegas ke nilai *fuzzy*. Proses *fuzzifikasi* dituliskan sebagai berikut :

$$x = \text{fuzzifier}(x_0)$$

Dengan  $x_0$  adalah sebuah vektor nilai tegas dari suatu variabel masukan,  $x$  adalah vektor himpunan *fuzzy* yang didefinisikan sebagai variabel dan *fuzzifier* adalah sebuah operator *fuzzifikasi* yang mengubah nilai tegas ke himpunan *fuzzy*.

### 2.3.6. Defuzzifikasi ( *Defuzzification* )

Defuzzifikasi merupakan transformasi yang menyatakan kembali keluaran dari domain *fuzzy* ke dalam domain *crisp*. Keluaran *fuzzy* diperoleh melalui eksekusi dari beberapa fungsi keanggotaan *fuzzy*. Terdapat tujuh metode yang dapat digunakan pada proses defuzzifikasi (Ross, 1995) yaitu :

- 1) *Height method (Max-membership principle)*, dengan mengambil nilai fungsi keanggotaan terbesar dari keluaran *fuzzy* yang ada untuk dijadikan sebagai nilai defuzzifikasi,

- 2) *Centroid (Center of Gravity) method*, mengambil nilai tengah dari seluruh fungsi keanggotaan keluaran *fuzzy* yang ada untuk dijadikan nilai defuzzifikasi,
- 3) *Weighted Average Method*, hanya dapat digunakan jika keluaran fungsi keanggotaan dari beberapa proses *fuzzy* mempunyai bentuk yang sama
- 4) *Mean- max membership*, mempunyai prinsip kerja yang sama dengan metode maximum tetapi lokasi dari fungsi keanggotaan maksimum tidak harus unik
- 5) *Center of sums*, mempunyai prinsip kerja yang hampir sama dengan *Weighted Average Method* tetapi nilai yang dihasilkan merupakan area respektif dari fungsi keanggotaan yang ada
- 6) *Center of largest area*, hanya digunakan jika keluaran *fuzzy* mempunyai sedikitnya dua sub-daerah yang *convex* sehingga sub-daerah yang digunakan sebagai nilai defuzzifikasi adalah daerah yang terluas, 7) *First (or last) of maxima*, menggunakan seluruh keluaran dari fungsi keanggotaan.

### 2.3.7. Aturan IF – THEN

Dari data dan penjelasan parameter-parameter fungsi keanggotaan sebagaimana diatas, kemudian dapat dibuat aturan IF – THEN. Basis aturan dibentuk dalam 2 bagian yaitu bagian parameter *block* yang digunakan menyimpan nilai-nilai parameter dari suatu aturan dan bagian lainnya adalah *rules block* yang digunakan menyimpan aturan itu sendiri.

Jumlah aturan IF – THEN yang dihasilkan merupakan perkalian kemungkinan gejala-gejalanya (premis), yang kemudian dikurangi jumlah aturan yang dapat direduksi

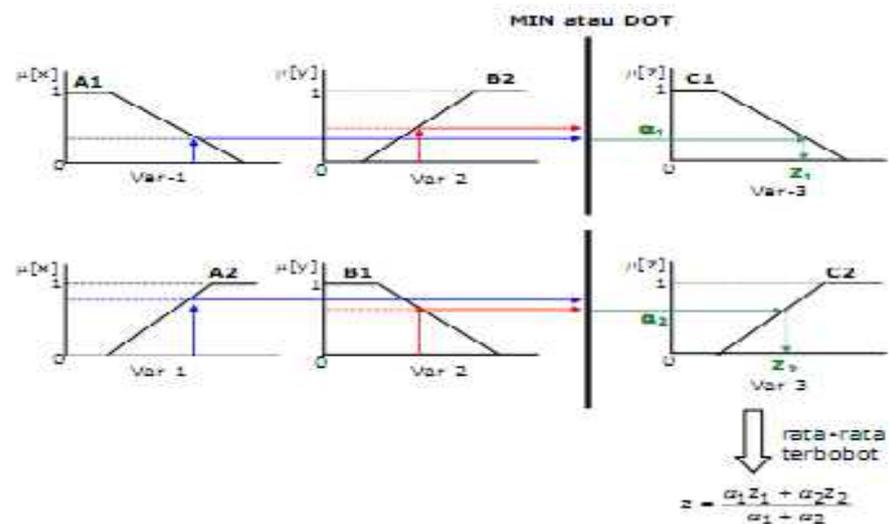
### 2.3.8. Metode Fuzzy Tsukamoto

Pada Metode Tsukamoto, setiap konsekuen pada aturan yang berbentuk IF-Then, sebagai hasilnya, output hasil inferensi dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas (crisp) berdasarkan  $\mu$ -predikat (fire strength). Hasil akhirnya diperoleh dengan menggunakan rata-rata terbobot, setiap konsekuen pada aturan yang berbentuk IF-THEN harus direpresentasikan dengan suatu himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang monoton. Sebagai hasilnya, *output* hasil inferensi dari tiap-tiap aturan diberikan dengan tegas (*crisp*) berdasarkan  $\mu$ -predikat (*fire strength*). Hasil akhirnya diperoleh dengan menggunakan rata-rata terbobot. Misal ada 2 variabel input, var-1(x) dan var-2(y) serta 1 variabel output var-3(z), dimana var-1 terbagi atas 2 himpunan yaitu A1 dan A2 dan var-2 terbagi atas himpunan B1 dan B2. Sedangkan var-3 juga terbagi atas 2 himpunan yaitu C1 dan C2. (Kusumadewi, 2003)

Ada dua aturan yang digunakan yaitu:

[R1] IF (x is A1) and (y is B2) THEN (z is C1)

[R2] IF (x is A2) and (y is B1) THEN (z is C2)



**Gambar 2.7** Inferensi dengan menggunakan metode Tsukamoto

Sumber : Kusumadewi & Purnomo 2003

#### 2.4. Penelitian Sebelumnya

Beberapa artikel yang digunakan sebagai referensi pembelajaran, disini didapatkan beberapa contoh kasus yang hampir sama dengan permasalahan yang dihadapi, berikut artikel yang digunakan sebagai bahan wacanan antara lain :

1. Fanoel Thamrin 2012 :

“STUDI INFERENSI *FUZZY* TSUKAMOTO UNTUK PENENTUAN FAKTOR PEMBEBANAN TRAFU PLN”

Bahasan : Semakin berkembangnya teknologi ketenagalistrikan menyebabkan proses pemantauan dan diagnosis pada sistem tenaga listrik menjadi sangat kompleks. Salah satu komponen penting pada sistem tenaga listrik adalah trafo. Gangguan yang terjadi pada trafo dapat mengakibatkan terbakarnya trafo dan juga turunnya kinerja trafo. Oleh karena itu, pemeliharaan dan pendeteksian kerusakan trafo perlu dilakukan secara rutin agar trafo bisa bekerja sesuai dengan masa pemakaian maksimumnya. Permasalahannya adalah jika terjadi kerusakan pada trafo menyebabkan biaya yang cukup besar diperlukan untuk mendatangkan seorang ahli dalam pemeliharaan dan pemeriksaan trafo secara rutin. Berdasarkan permasalahan tersebut maka perlu dikembangkan perangkat lunak dengan kemampuan sama atau mendekati seorang pakar diagnosis trafo dengan ketelitian dan kecepatan tinggi terhadap pemeliharaan pada trafo sebelum terjadi kerusakan. Studi inferensi *fuzzy* Tsukamoto untuk penentuan faktor pembebanan trafo PLN menghasilkan sebuah perangkat lunak yang dapat digunakan untuk mendeteksi jenis gangguan pada trafo distribusi PT PLN berdasarkan faktor pembebanan trafo, ketidakseimbangan beban, jatuh tegangan dan faktor daya sehingga dapat dilakukan pemeliharaan sesuai dengan jenis kerusakan atau gangguan yang terjadi pada trafo tersebut.

Aplikasi ini dilengkapi dengan fasilitas perhitungan pembebanan trafo, ketidakseimbangan beban pada trafo. Variabel masukan yang digunakan

dalam menentukan pembebanan trafo dan ketidakseimbangan beban pada trafo adalah nilai arus tiap fasa pada trafo, nilai tegangan tiap fasa, nilai faktor daya dan kapasitas trafo.

2. Rakhmat Wahyu W 2009 :

“APLIKASI *FUZZY INFERENCE SYSTEM* (FIS) METODE TSUKAMOTOPADA SIMULASI TRAFFIC LIGHT MENGGUNAKAN JAVA “

Bahasan: Dengan adanya sistem yang bekerja secara otomatis diharapkan angka kecelakaan yang disebabkan oleh masalah lampu lalu lintas dapat berkurang. Selain itu dengan adanya lampu lalu lintas yang otomatis tentu saja akan mengurangi tugas polisi lalu lintas, sehingga mereka bisa mengerjakan hal-hal lain yang belum teratasi. Pada penelitian ini, akan digunakan Fuzzy Inference System (FIS) dengan metode Tsukamoto untuk menentukan lamanya waktu lampu hijau menyala tergantung dari jumlah kepadatan mobil dan lebar jalur dari sebuah jalan. Input yang dibutuhkan adalah jumlah kepadatan mobil dan lebar jalur pada sebuah jalan sedangkan outputnya adalah lamanya lampu hijau menyala pada jalur yang ditentukan. Basis pengetahuan dibangun dengan menggunakan kaidah produksi (IF-THEN). Penelitian ini akan disimulasikan dengan menggunakan bahasa pemrograman Java untuk menentukan lamanya waktu lampu hijau menyala berdasarkan pada jumlah kepadatan mobil dan lebar jalur pada satu jalan. Sistem pengendalian lampu lalu lintas yang baik akan secara otomatis menyesuaikan diri dengan kepadatan arus lalu lintas pada jalur yang diatur. Sistem ini dikembangkan ke arah sistem yang adaptif, yaitu bila kondisi kepadatan berubah, maka sistem akan melakukan perubahan bentuk fungsi keanggotaan masukan dan keluaran secara otomatis. Pada penelitian ini akan disimulasikan pengaturan lampu lalu lintas berdasarkan kepadatan kendaraan (mobil) dan jumlah kendaraan pada tiap-tiap jalur dengan menggunakan *Fuzzy Inference System* (FIS) metode Tsukamoto