

**DESAIN EKSPERIMEN PENGARUH ZEOLIT TERHADAP
KUALITAS AIR LIMBAH KADMIUM (Cd)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada
Jurusan Teknik Industri**

Oleh :

**RUDI SALAM
10952008024**



**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU
2013**

DESAIN EKSPERIMEN PENGARUH ZEOLIT TERHADAP KUALITAS AIR LIMBAH KADMIUM (Cd)

RUDI SALAM
(10952008024)

Tanggal Sidang : 01 Oktober 2013
Tanggal Wisuda : Nopember 2013

Jurusan Teknik Industri
Fakultas Sains Dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Pekanbaru

ABSTRAK

Pencemaran lingkungan yang terjadi banyak disebabkan oleh limbah dari logam berat suatu industri, terutama industri pelapisan logam. Logam berat seperti kadmium (Cd) merupakan limbah dari pelapisan logam yang memiliki efek negatif bagi makhluk hidup berupa penyakit paru-paru, hati, tekanan darah tinggi, gangguan pada sistem ginjal dan kalenjar pencernaan serta kerapuhan pada tulang. Maka dari itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan zeolit terhadap kualitas air limbah kadmium (Cd) dan menentukan jumlah komposisi zeolit yang optimal pada kolam pengolahan limbah kadmium (Cd) di Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru. Bahan kajian dalam penelitian ini adalah kemampuan zeolit dalam mempengaruhi kualitas air limbah kadmium yaitu TPT, pH dan Suhu. Penelitian ini menggunakan metode logika *fuzzy* sugeno dengan pendekatan desain eksperimen rancangan acak lengkap untuk mengoptimalkan paduan parameter-parameter dan variabel yang ada dan hal yang berkaitan dengan penetapan baku mutu limbah agar layak dibuang ke lingkungan. Setelah dilakukan penelitian dan pengolahan data didapat nilai $F_{Hitung} (11.0) > F_{(Tabel\ 0.05)} (3.35)$ yang berarti H_0 (hipotesis nol) ditolak dan menerima H_a . sehingga hasil ini mengemukakan bahwa zeolit memberikan pengaruh yang nyata terhadap kualitas air limbah kadmium (Cd) limbah pelapisan logam dengan komposisi sebanyak 15 gram dengan waktu dedah 18 dan 24 jam dan kadar 13 mg/l, 15,5 mg/l, dan 18 mg/l untuk TPT. Sedangkan 70 gram (27,3°C, 27,3°C, 29,8°C dan 29,9°C) dan 125 gram (27,5°C, 27,3°C, 29,9°C dan 29,9°C) untuk suhu dengan waktu dedah 18 dan 24 jam serta untuk pH zeolit tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Khususnya untuk parameter pH harus ada penggunaan bahan alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi limbah kadmium agar dapat dibuang ke lingkungan dan sesuai ketentuan kementerian lingkungan hidup tanpa mengakibatkan polusi dan merusak ekosistem makhluk hidup lainnya.

Kata Kunci: Desain Eksperimen, *Fuzzy*, Kadmium (Cd), pH, Suhu, TPT, Zeolit

EXPERIMENTAL DESIGN EFFECT OF WASTE WATER QUALITY ZEOLIT ON CADMIUM (Cd)

RUDI SALAM
(10952008024)

Date of Conference : 01 October , 2013

Date of Graduate : November 2013

Department of Industrial Engineering Faculty of Science and Technology
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Soebrantas Street No. 15 Pekanbaru
Email : rudykongkong@gmail.com

Abstract

Environmental pollution caused by waste a lot of the heavy metal industry, especially the metal plating industry . Heavy metals such as cadmium (Cd) is a waste of metal coating that has a negative effect on living things such as lung disease, heart, high blood pressure, renal system disorders and digestive gland and bone fragility. Therefore this study was to determine the effect of the zeolit on the quality of wastewater cadmium (Cd) and determine the optimal amount of zeolite composition on the sewage treatment ponds cadmium (Cd) in the Integrated Training Unit Pekanbaru Riau Electroplating Industry. Study material in this study is the ability of zeolites in wastewater cadmium affects the quality of TPT, pH and temperature. This study uses the Sugeno fuzzy logic approach to design a completely randomized experimental design to optimize the alloy parameters and variables that exist and matters relating to the establishment of quality standards for proper disposal of waste into the environment. After doing research and processing of data obtained Fcount value (11.0) > F (Table 0.05), (3:35), which means that H_0 (null hypothesis) is rejected and accept H_a . so these results suggest that zeolite gives significant effect on the quality of wastewater cadmium (Cd) metal plating waste by as much as 15 grams of composition with time uncovered 18 and 24 hours, and levels of 13 mg / l, 15.5 mg / l, and 18 mg / l for TPT. While 70 grams (27.30 C, 27.30 C, 29.80 C and 29.90 C) and 125 grams (27.50 C, 27.30 C, 29.90 C and 29.90 C) temperature with time uncovered for 18 and 24 hours and for pH zeolite does not have a significant influence. Especially for the parameters pH should be no use of alternative materials that can be used to cope with cadmium waste to be disposed of according to the provisions of the ministry of environment and without causing environmental pollution and ecosystem damage other living creatures.

Keywords : *Design of Experiments, Fuzzy, Cadmium (Cd), pH, temperature, TPT , Zeolit*

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur yang tak terhingga penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan nikmat kesehatan jasmani dan rohani serta taufik dan hidayah-Nya, sehingga Tugas Akhir ini dapat penulis selesaikan tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini penulis susun dalam rangka memenuhi salah satu syarat dalam menempuh ujian dan merupakan syarat untuk memperoleh gelar sarjana jurusan Teknik Industri pada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Penulis menyadari kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki masih belum sempurna, sehingga sangat mungkin dalam Tugas Akhir ini terdapat banyak sekali kekurangan baik dalam hal bentuk, teknik atau cara penulisan, tata bahasa, dan lain sebagainya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dorongan sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Ucapan terima kasih dan rasa hormat penulis tujukan kepada :

1. Ibu Dra. Hj. Yenita Morena, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
2. Bapak Ismu Kusumanto., ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Bapak Muhammad Nur, S.T., M.Si., selaku Pembimbing yang telah meluangkan waktunya dan pemikirannya serta memberikan pengarahan untuk bimbingan, sehingga laporan akhir ini dapat diselesaikan.
4. Bapak Dr. Teddy Purnamirza, S.T., M.Eg., selaku ketua sidang atas bantuan dan dukungannya yang sangat besar dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Tengku Nurainun., MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Industri Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

6. Ibu Misra Hartati., ST., MT selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Industri Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
7. Ibu Nofirza., ST., M.Sc selaku penguji satu yang telah meluangkan waktunya demi kelancaran Tugas Akhir ini.
8. Ibu Wresni Anggraini., MM selaku penguji dua yang telah meluangkan waktunya demi kelancaran Tugas Akhir ini.
9. Ibunda Juminah dan Ayahanda Nasib tercinta yang selalu membimbing, mendoakan, dan memberikan motivasi serta bantuan moril juga materil, serta atas bantuan dan kasih sayangnya yang tiada batas. *Thanks for your love, and i'm always loving you.*
10. Buat Kakak Dan Mas Ku *Thanks For Everything*
11. Sahabatku Teknik Industri 09 dan abang-abang senior yang selalu ada saat suka maupun duka, selalu membantu memberikan solusi untuk masalah-masalah yang penulis hadapi, memberikan kesegaran dalam kepenatan, menjadikan diri yakin dan merasa berarti. *Thanks for a nice friendship, keep yours smile friend.*
12. Rekan-rekan mahasiswa/i Teknik Industri terima kasih atas kebersamaan kalian selama ini

Semoga penulisan Tugas Akhir ini dapat membawa manfaat bagi penulis dan institusi terkait serta segenap pihak yang membaca Tugas Akhir ini pada umumnya.

Wassalamualaikum Wr., Wb..

Pekanbaru, Oktober 2013

RUDI SALAM
10952008024

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xvii
BAFTAR TABEL	xix
DAFTAR RUMUS	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-4
1.3 Tujuan	I-4
1.4 Manfaat	I-4
1.5 Batasan Penelitian	I-5
1.6 Hipotesis.....	I-5
1.7 Posisi Penelitian	I-5
1.8 Sistematika Penulisan	I-7
BAB II STUDI LITERATUR	
2.1 Zeolit	II-1
2.1.1 Sifat Zeolit.....	II-2
2.1.2 Jenis Zeolit	II-3
2.1.2.1 Zeolit Alam.....	II-4

2.1.2.1 Zeolit Sintetis.....	II-5
2.2 Logam Berat.....	II-5
2.3 Adsorpsi Kadmium (Cd) oleh Zeolit ($\text{Na}_4\text{K}_4\text{AlSiO}_8\text{O}_{96} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$).....	II-7
2.3.1 Koagulasi	II-8
2.3.2 Flokulasi.....	II-10
2.4 Pengaruh Logam Berat Cd bagi Organisme dan Manusia	II-10
2.5 Proses Pelapisan Logam.....	II-11
2.6 Parameter Kualitas Air	II-11
2.6.1 Total Padatan Tersuspensi (TPT).....	II-11
2.6.2 Derajat Keasaman (pH).....	II-13
2.6.3 Suhu	II-13
2.7 Desain Eksperimen.....	II-14
2.7.1 Prinsip Dasar Desain Eksperimen.....	II-16
2.8 Rancangan Acak Lengkap.....	II-16
2.9 Analisis Variansi (<i>Analysis of Variances</i>).....	II-18
2.10 Pengolahan Limbah UPT. Riau Elektroplating Industri Pekanbaru	II-21
2.11 Logika Fuzzy.....	II-22
2.12 Himpunan Fuzzy	II-24
2.13 Fungsi Keanggotaan.....	II-24
2.14 Operasi Dasar Untuk Himpunan <i>Fuzzy</i>	II-32
2.15 Fungsi Implikasi.....	II-32
2.16 Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i>	II-33
2.17 Model Sugeno	II-34
2.17.1 Gambar Tampilan Output Secara Umum.....	II-36

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Pendahuluan.....	III-1
3.2 Perumusan Masalah	III-1
3.3 Studi Literatur	III-1
3.4 Persiapan Prosedur Penelitian.....	III-1

3.4.1 Waktu Dan Tempat Penelitian.....	III-1
3.4.2 Bahan Dan Alat.....	III-2
3.4.3 Kadar Kualitas Air Awal.....	III-4
3.4.4 Pelaksanaan Penelitian.....	III-4
3.5 Metode Penelitian.....	III-5
3.5.1 Metode Logika <i>Fuzzy</i>	III-6
3.5.2 Metode Desain Eksperimen.....	III-7
3.6 Variabel Penelitian.....	III-8
3.7 Perlakuan Penelitian.....	III-8
3.8 Pengumpulan Data.....	III-9
3.9 Pengolahan Data.....	III-9
3.9.1 Rancangan <i>Fuzzy</i>	III-10
3.9.2 Rancangan Percobaan.....	III-12
3.10 Analisa Data.....	III-13
3.11 Penutup.....	III-13

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data.....	IV-1
4.1.1 Pengumpulan Data Penelitian Awal.....	IV-1
4.1.1.1 Pengumpulan Data Penelitian Awal Data Padatan Tersuspensi (TPT).....	IV-1
4.1.1.2 Pengumpulan Data Penelitian Awal Derajat Keasaman.....	IV-2
4.1.1.3 Pengumpulan Data Penelitian Awal Suhu.....	IV-3
4.2 Pengumpulan Data Penelitian Inti.....	IV-4
4.2.1 Data Hasil Percobaan Inti Dengan Parameter TPT.....	IV-4
4.2.1 Data Hasil Percobaan Inti Dengan Parameter pH.....	IV-5
4.2.1 Data Hasil Percobaan Inti Dengan Parameter Suhu.....	IV-6
4.3 Pengolahan Data.....	IV-8
4.3.1 Pengolahan Data Dengan Metode Logika Fuzzy Sugeno.....	IV-8
4.3.1.1 Pengolahan Data TPT.....	IV-8

4.3.1.2 Pengolahan Data Suhu.....	IV-10
4.3.1.3 Pengolahan Data pH	IV-11
4.3.1.4 Output Pengolahan Data.....	IV-13
4.3.1.5 Output Pengolahan Data Fungsi Implikasi	IV-14
4.3.1.6 Output Pengolahan Data Surface Viewer ..	IV-14
4.3.2 Pengolahan Data Dengan Metode Rancangan	
Acak Lengkap.....	IV-17
4.3.2.1 Pengolahan Data Dengan Metode	
Rancangan Acak Lengkap TPT	IV-17
4.3.2.2 Pengolahan Data Dengan Metode	
Rancangan Acak Lengkap pH	IV-18
4.3.2.3 Pengolahan Data Dengan Metode	
Rancangan Acak Lengkap Suhu.....	IV-18

BAB V

ANALISA

5.1 Analisa Penelitian Awal.....	V-1
5.1.1 Analisa Penelitian Awal Total Padatan	
Tersuspensi (TPT)	V-1
5.1.2 Analisa Penelitian Awal Derajat Keasaman	
(pH).....	V-1
5.1.3 Analisa Penelitian Awal Suhu.....	V-2
5.2 Analisa Dengan Metode Logika Fuzzy Sugeno.....	V-2
5.2.1 Total Padatan Tersuspensi (TPT).....	V-2
5.2.2 Suhu	V-3
5.2.3 Derajat Keasaman (pH).....	V-3
5.2.4 Himpunan Variabel Fuzzy	V-3
5.2.5 Aplikasi Fungsi Implikasi	V-4
5.2.6 Surface Viewer.....	V-4
5.3 Analisa Dengan Metode Rancangan Acak Lengkap.....	V-5
5.3.1 Total Padatan Tersuspensi (TPT).....	V-5
5.3.2 Derajat Keasaman (pH).....	V-6
5.3.3 Suhu	V-7
5.4 Implementasi Pemberian Zeolit Pada Kolam	

Pengolahan Limbah UPT Riau <i>Elektroplating</i>	
Industri Pekanbaru	V-8

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan	VI-1
6.2 Saran.....	VI-1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Usaha untuk mencapai tingkat kualitas hidup manusia yang semakin berkembang telah melahirkan pemakaian mesin dan peralatan baru dalam bidang industri serta pemanfaatan teknologi untuk mendapatkan produk yang berkualitas tinggi, dengan tujuan pencapaian sasaran kualitas hidup manusia yang lebih baik. Akibatnya berkembanglah industri-industri barang dan jasa (Ferdiaz, 2002).

Salah satu industri pelapisan logam yang berada di Pekanbaru adalah Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri yang berada di bawah Dinas Perindustrian dan Perdagangan Provinsi Riau. Unit Pelatihan Terpadu ini sebagai tempat pelatihan bagi para calon tenaga kerja untuk memperoleh keterampilan dalam berbagai jenis keahlian seperti bidang kerajinan, pengemasan produk makanan, termasuk pelatihan dalam pelapisan logam.

Bidang usaha pelapisan logam ini, dalam proses produksinya menghasilkan limbah cair, limbah ini bersifat asam alkali yang mengandung sianida beracun dan logam beracun. Sumber utama air limbah adalah larutan sisa proses *elektroplating* itu sendiri dan larutan pembilasan dari tiga tangki larutan dimana dengan proses kerja logam yang akan dilapisi dimasukkan ke dalam tangki-tangki yang berisi larutan asam dan garam logam kemudian dibilas dengan air. Air pembilasan inilah yang menjadi sumber utama limbah logam berat (Lampiran A).

Limbah cair yang dihasilkan dalam proses *elektroplating* dialirkan ke dalam kolam pengolahan limbah. Berdasarkan hasil analisis pada air sampel limbah industri tersebut yang dilakukan pada Maret 2013 di laboratorium kimia *instrument* Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* didapatkan kadar parameter kualitas air limbah sebagai berikut.

Tabel 1.1 Data Hasil Penelitian Awal

Parameter	Kadar	Satuan	Hasil Pengujian			
			Kolam 1	Kolam 2	Kolam 3	Kolam 4
TPT	20	mg/l	52.7	52.7	52.6	53
pH	6.0 – 9.0	gr/l	4.54	4.64	4.66	4.8
Suhu	27 ⁰ -32 ⁰	⁰ C	27.3	27.3	27.5	29

Sumber : UPT. Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru, (2013)

Berdasarkan Tabel 1.1 menunjukkan hasil pengujian awal dari masing-masing kolam tersebut bahwa kadar kualitas air limbah kadmium (Cd) masih berada diluar ambang batas yang diizinkan pada baku mutu yang telah ditetapkan sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan hidup Nomor: KEP-51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri pelapisan logam dengan nilai toleransi yang boleh dibuang ke lingkungan adalah 20 gr/l dengan beban pencemaran 0.40 gr/ton untuk Total Padatan Tersuspensi (TPT). 6,0-9,0 untuk Derajat Keasaman (pH) (Kementrian Lingkungan Hidup, 2001). Dan suhu berkisar 27⁰C-32⁰C masih layak untuk kehidupan organisme (Boyd, 2002) (Lampiran B).

Sulaiman (2013) mengatakan air limbah sisa pelapisan logam tersebut akan dialirkan ke dalam kolam Unit Pengolahan Limbah Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru yang terdiri dari 4 kolam penampungan, masing-masing kolam memiliki bentuk dan kapasitas yang berbeda satu dengan yang lain (Lampiran C). Kolam pertama berbentuk lingkaran seperti sumur yang berfungsi menampung limbah cair yang langsung keluar dari *inlet*. Apabila kolam pertama telah penuh, maka air limbah tersebut akan mengalir dengan sendirinya melalui saluran berukuran sekitar 10 cm ke kolam kedua yang berbentuk persegi panjang dengan sekat-sekat dinding yang berfungsi sebagai sirkulasi dan membuat pergerakan air semakin besar sehingga memungkinkan terjadinya benturan-benturan antara air dengan dinding sekat yang dapat mendorong gas-gas berbahaya dan dapat meningkatkan kadar oksigen di dalam kolam kedua. Pada kolam ketiga ini berbentuk lingkaran sama seperti pada kolam pertama. Kolam

ketiga juga berfungsi sebagai penampung air limbah dari kolam kedua. Berikutnya kolam keempat sebagai kolam terakhir, setelah limbah cair di tampung seluruhnya kemudian air limbah tersebut dialirkan melalui parit sebagai pembuangan akhir. Air limbah kadmium inilah yang kemudian mengalami penguapan dan terakumulasi secara bebas sehingga mengakibatkan pencemaran serta berbagai penyakit bagi makhluk hidup.

Limbah kadmium berasal dari pembuangan industri dan limbah pertambangan. Efek keracunan yang dapat ditimbulkannya berupa penyakit paru-paru, hati, tekanan darah tinggi, gangguan pada sistem ginjal dan kalenjar pencernaan serta kerapuhan pada tulang (Saeni, 1997).

O-fish (2002) dalam penelitiannya menyatakan urutan tingkat racun berbagai logam berat terhadap makhluk hidup mulai dari yang terbesar adalah Hg (air raksa), Cu (tembaga), Pb (timbal), Cd (kadmium), Al (aluminium), Zn (seng), Ni (nikel), Cr (krom), Co (kobalt), Mn (mangan), sedangkan kadar standar baku mutu logam kadmium bagi makhluk hidup adalah 0,01 ppm. Untuk itu perlu dilakukan penurunan kadar parameter kualitas air limbah kadmium (Cd) sebelum dialirkan ke lingkungan umum agar tidak membahayakan makhluk hidup yang ada di sekitarnya tersebut. Salah satu cara yang digunakan untuk mengatasi kadar kualitas air limbah kadmium (Cd) dengan memanfaatkan mineral alam zeolit ($\text{Na}_4\text{K}_4\text{AlSiO}_8\text{O}_{96} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$). Zeolit ($\text{Na}_4\text{K}_4\text{AlSiO}_8\text{O}_{96} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$) dapat menyerap ion-ion kadmium (Cd) (Suryatono dkk, 1991).

Zeolit merupakan aluminosilikat dengan struktur kerangka berpori yang berhubungan kesegala arah yang menyebabkan permukaan zeolit menjadi sangat luas sehingga dapat digunakan sebagai penyerap. Selain itu harga zeolit relatif terjangkau yaitu Rp 650/Kg. sehingga pengaplikasian zeolit sebagai bahan penyerap sangat memungkinkan untuk dilakukan.

Dengan adanya permasalahan tersebut peneliti mencoba untuk menggunakan logika *Fuzzy* model sugeno sebagai metode pemecahan masalah ini, sebab konsep logika *Fuzzy* didasarkan pada bahasa alami, penerapan logika *Fuzzy* juga dapat menunjukkan hasil yang hampir sama dengan analisis secara manual (Revina dkk, 2012). Pendugaan numerik yang terstruktur dan dinamik

serta mempunyai kemampuan untuk pengembangan intelijen dalam lingkungan yang tidak pasti dan tidak tepat. Sistem intelijen merupakan bagian ilmu yang menggunakan bantuan komputer untuk dapat melakukan pekerjaan seperti dan sebaik yang dilakukan manusia (Hadiguna, 2007). Selain itu terdapat pula pendekatan lain untuk menentukan rancangan percobaan serta implementasi dan pengujian dari hasil yang dilakukan nantinya pendekatan tersebut adalah desain eksperimen rancangan acak lengkap.

Melihat kemungkinan terjadinya resiko terakumulasinya logam kadmium (Cd) terhadap makhluk hidup serta menjaga keberlangsungan hidup organisme kadmium (Cd) merupakan salah satu logam berat yang bersifat racun dan merugikan bagi semua organisme hidup, bahkan juga berbahaya untuk manusia. Berdasarkan pemikiran diatas, maka dipandang perlu untuk diteliti sebagai penanganan akibat yang ditimbulkan oleh limbah kadmium tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini akan dirumuskan masalah yang akan dicarikan solusinya yaitu apakah penambahan zeolit berpengaruh terhadap kualitas air limbah kadmium (Cd) di Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru ?

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh penambahan zeolit terhadap kualitas air limbah kadmium (Cd) di Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru.
2. Menentukan jumlah komposisi zeolit yang optimal pada kolam pengolahan limbah kadmium (Cd) Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Menambah wawasan tentang logika *fuzzy* dengan model Sugeno.

2. Sebagai dasar dan contoh pengembangan dan penerapan logika *fuzzy* khususnya model Sugeno pada perusahaan.
3. Salah satu upaya untuk mewujudkan industri yang berwawasan lingkungan di Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru.

1.5 Batasan Penelitian

Agar permasalahan tidak terlalu luas ruang lingkupnya, maka penulis membatasi masalah pada :

1. Penelitian dilakukan pada bagian pelapisan logam di Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru
2. Sampel air limbah yang digunakan adalah dari kolam IV
3. *Software* yang digunakan adalah MATLAB
4. Periode penelitian Juli-September 2013
5. Lama waktu dedah diasumsikan selama 18 dan 24 jam (lampiran I)
6. Lama waktu pengadukan diasumsikan selama 20 menit menggunakan *Magnetic Stirer* (lampiran J)

1.6 Hipotesis

Hipotesis yang digunakan dalam penelitian ini adalah “ Penambahan zeolit dapat berpengaruh terhadap parameter kualitas air limbah kadmium (Cd) yaitu Total Padatan Tersuspensi, (TPT), Derajat Keasaman (pH) dan Suhu pada Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru”

H_0 : Tidak terdapat pengaruh penambahan zeolit terhadap parameter kualitas air limbah kadmium (Cd)

H_a : Terdapat pengaruh penambahan zeolit terhadap parameter kualitas air limbah kadmium (Cd)

1.7 Posisi Penelitian

Penelitian tentang penerapan model Sugeno pada logika *fuzzy* dengan pendekatan desain eksperimen rancangan acak lengkap telah banyak dilakukan sebelumnya. Baik penelitian-penelitian yang dilakukan untuk keperluan tugas akhir maupun tesis. Agar dalam penelitian ini tidak terjadi penyimpangan dan

penyalinan maka perlu ditampilkan posisi penelitian, berikut adalah tampilan posisi penelitian.

Lahmudin I. Panigoro	
Judul	Logika <i>Fuzzy</i> Untuk Penentuan Jurusan Di SMA
Lokasi	Gorontalo
Objek Penelitian	Sekolah Menengah Atas (SMA)
Variabel Penelitian	Mata Pelajaran, Jurusan dan iQ
Tujuan Penelitian	Penentuan Jurusan Pada Sekolah Menengah Atas (SMA) yaitu IPA, IPS dan Bahasa.
Metode	Logika <i>Fuzzy</i> Model Sugeno
Fajar Solikin	
Judul	Aplikasi Logika <i>Fuzzy</i> Dalam Optimisasi Produksi Barang Menggunakan Metode Mamdani Dan Metode Sugeno
Lokasi	Makassar
Objek Penelitian	UKM Dan Juga Merupakan Anggota Dari Koperasi Karya Mandiri Kudus, Perusahaan Rokok Genta Mas
Variabel Penelitian	Permintaan, Persediaan Dan Produksi Barang
Tujuan Penelitian	Menentukan Optimasi Jumlah Produksi Barang Dengan Metode Mamdani Dan Metode Sugeno
Metode	Logika <i>Fuzzy</i> Dengan Model Mamdani Dan Sugeno
Rudi Salam	
Judul	Desain Eksperimen Pengaruh Zeolit Terhadap Kualitas Air Limbah Kadmium (Cd)
Lokasi	Pekanbaru
Objek Penelitian	UPT. Riau <i>Elektroplating</i> Industri Pekanbaru
Variabel Penelitian	Limbah Kadmium, TPT, pH, Suhu Dan Zeolit

Tujuan Penelitian	Untuk mengetahui pengaruh penambahan zeolit terhadap kualitas air limbah kadmium (Cd) di Unit Pelatihan Terpadu Riau <i>Elektroplating</i> Industri Pekanbaru
Metode	Logika <i>Fuzzy</i> Model Sugeno Dengan Pendekatan Desain Eksperimen Rancangan Acak Lengkap

1.8 Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Berisikan tentang latar belakang masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, rumusan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II Landasan Teori

Menguraikan semua teori dasar serta prinsip dasar yang digunakan untuk membahas masalah yang berkaitan erat dengan kegiatan penelitian tugas akhir ini.

BAB III Metodologi Penelitian

Menguraikan tentang metode yang digunakan dalam penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan masalah limbah kadmium (Cd) tersebut yaitu metode Logika *Fuzzy* Model Sugeno Dengan Pendekatan Desain Eksperimen Rancanga Acak Lengkap.

BAB IV Pengumpulan Dan Pengolahan Data

Mengumpulkan data dari hasil penelitian serta menguraikan semua data dan mengolahnya.

BAB V Analisa

Menguraikan dan menganalisa secara keseluruhan semua yang telah dihasilkan dan telah diolah pada Bab IV tentang penentuan penambahan jumlah zeolit yang tepat serta pengaruhnya terhadap kualitas air limbah kadmium (Cd) pelapisan logam.

BAB VI Penutup

Menguraikan secara singkat mengenai kesimpulan dan saran dari penelitian dan penulisan tugas akhir ini.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Zeolit ($\text{Na}_4\text{K}_4\text{AlSiO}_8\text{O}_{96} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$)

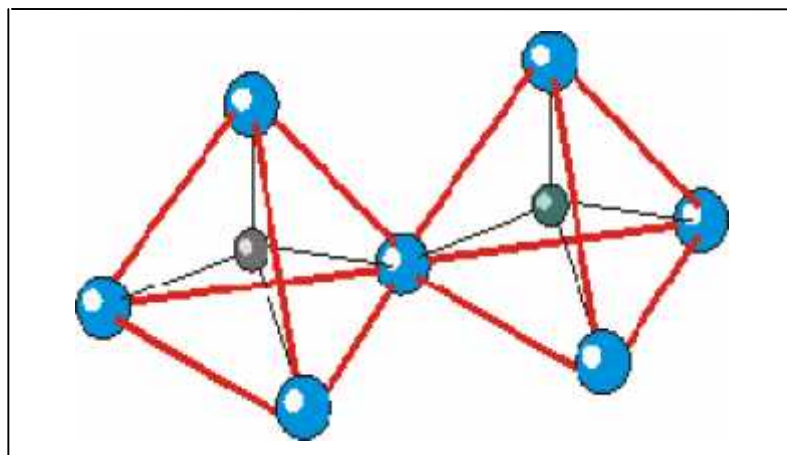
Penamaan zeolit ($\text{Na}_4\text{K}_4\text{AlSiO}_8\text{O}_{96} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$) berasal dari kata “Zein” yang berarti mendidih dan “Lithos” yang berarti batuan, disebut demikian karena mineral ini mempunyai sifat mendidih atau mengembang bila dipanaskan. Secara geologis, endapan zeolit ($\text{Na}_4\text{K}_4\text{AlSiO}_8\text{O}_{96} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$) terbentuk karena proses sedimentasi debu vulkanik pada lingkungan danau yang bersifat alkali (air asin), proses diagenetik (metamorfosa tingkat rendah) dan proses hidrotermal (Siddik, 1992).

Mineral zeolit telah dikenal sejak tahun 1756 oleh Cronstedt ketika menemukan Stilbit yang bila dipanaskan seperti batuan mendidih (*boiling stone*) karena dehidrasi molekul air yang dikandungnya. Pada tahun 1954 zeolit diklasifikasi sebagai golongan mineral tersendiri, yang saat itu dikenal sebagai *molecular materials*. Dengan demikian, zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Ion-ion logam tersebut dapat diganti oleh kation lain tanpa merusak struktur zeolit dan dapat menyerap air secara *reversible*. Zeolit biasanya ditulis dengan rumus kimia oksida atau berdasarkan satuan sel kristal. Zeolit tidak dapat diidentifikasi hanya berdasarkan analisa komposisi kimianya saja, melainkan harus dianalisa strukturnya. Struktur kristal zeolit dimana semua atom Si (silikon) dan Al (aluminium) dalam bentuk tetrahedral (TO_4) disebut unit bangun primer, zeolit hanya dapat diidentifikasi berdasarkan unit bangun sekunder

Zeolit ($\text{Na}_4\text{K}_4\text{AlSiO}_8\text{O}_{96} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$) dengan struktur kerangka berongga adalah jenis kristal yang pertama ditemukan. Oleh karena itu Zeolit ($\text{Na}_4\text{K}_4\text{AlSiO}_8\text{O}_{96} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$) didefinisikan sebagai suatu aluminosilikat yang mempunyai struktur kerangka berpori yang berisi kation dan molekul air dimana keduanya dapat bebas berpindah dalam batasan pertukaran ion *reversibel* dan dehidrasi *reversibel* (Riyanto, 1991).

Struktur Zeolit ($\text{Na}_4\text{K}_4\text{AlSi}_8\text{O}_{96} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$) terbentuk atas unit-unit dasar pembangunan primer yang akan bergabung membentuk pembangunan sekunder. Selanjutnya unit pembangunan sekunder akan membentuk polihedral-polihedral yang besar sebagai kristal zeolit. Bentuk kristalnya yang sangat teratur dan indah dengan rongga-rongga yang saling berhubungan kesegala arah menyebabkan permukaan zeolit menjadi sangat luas, sehingga baik bila dijadikan sebagai penyerap (Indriana, 1999). Zeolit mempunyai variasi warna berupa hijau, kebiru-biruan, putih dan coklat dengan lunak kekerasan 1-3, berat jenis 2-2,4 dan sifat lain yang menonjol, antara lain struktur kristal tiga dimensi, tetra hidriasilikat (tectosilikat), kapasitas pertukaran ion serta mempunyai daya serap yang tinggi (Siddik dkk, 1991).

Zeolit kini berpeluang sangat luas dipergunakan dalam kehidupan manusia baik pertanian, peternakan, perikanan, farmasi, lingkungan, industri, dan berbagai aktifitas manusia lainnya. Disamping itu penambangan dan pembudidayaan zeolit telah mulai dilakukan oleh berbagai industri baik skala menengah maupun skala besar (Sachari, 2011).



Gambar 2.1 Struktur Zeolit

2.1.1 Sifat Zeolit

Zeolit mempunyai struktur berongga dan biasanya rongga ini diisi oleh air dan kation yang bisa dipertukarkan serta memiliki ukuran pori yang tertentu. Oleh karena itu zeolit dapat dimanfaatkan sebagai : penyaring molekuler, penukar ion, penyerap bahan dan katalisator. Sifat zeolit (Komar dkk, 2005) meliputi :

a. Dehidri

Sifat dehidrasi dari zeolit akan berpengaruh terhadap sifat adsorpsinya. Zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam rongga permukaan yang menyebabkan medan listrik meluas ke dalam rongga utama dan akan efektif berinteraksi dengan molekul yang akan diadsorpsi. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume ruang hampa yang akan terbentuk bila unit sel kristal zeolit terus dipanaskan.

b. Adsorpsi

Zeolit juga mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran dan kepolarannya, dimana untuk molekul yang tidak jenuh atau bersifat polar akan lebih mudah lolos daripada molekul yang jenuh atau tidak polar.

c. Penukar ion

Ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Sifat sebagai penukar ion dari zeolit antara lain tergantung dari sifat kation, suhu, dan jenis anion. Penukaran kation dapat menyebabkan perubahan beberapa sifat zeolit seperti stabilitas terhadap panas, sifat adsorpsi dan aktifitas katalis.

d. Katalis

Zeolit merupakan katalisator yang baik karena mempunyai pori-pori yang besar dengan permukaan yang maksimum.

e. Penyaring atau pemisah

Volume dan ukuran garis tengah ruang hampa dalam kisi-kisi kristal menjadi dasar kemampuan zeolit untuk bertindak sebagai penyaring molekul. Molekul yang berukuran kecil dapat melintas sedangkan yang berukuran besar dari ruang hampa akan ditahan atau ditolak.

2.1.2. Jenis Zeolit

Menurut proses pembentukannya zeolit dapat digolongkan menjadi 2 kelompok (Sudi, 2006) yaitu :

2.1.2.1. Zeolit Alam

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses perubahan alam (zeolitisasi) dari batuan vulkanik tuf. Telah diketahui lebih dari 40 jenis mineral zeolit di alam. Dari jumlah tersebut hanya 20 jenis yang terdapat dalam batuan sedimen terutama sedimen piroklastik yang berbutir halus (tuf) (Sudi, 2006).

Zeolit yang diperoleh dari alam telah dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Akan tetapi daya serap, daya tukar ion maupun daya katalis dari zeolit tersebut belum maksimal. Untuk memperoleh zeolit dengan kemampuan yang tinggi diperlukan beberapa perlakuan antara lain; aktivasi dan modifikasi (Sudi, 2006).

Proses aktivasi zeolit alam dapat dilakukan dalam 2 cara yaitu (Sudi, 2006) secara fisis dan kimiawi :

1. Aktivasi Fisis

Aktivasi fisis biasanya dilakukan dengan pemanasan yang bertujuan untuk menguapkan air yang terperangkap tinggi dalam pori-pori kristal zeolit, sehingga luas permukaan pori- pori bertambah. Zeolit yang dipanaskan pada temperatur tinggi menyebabkan molekul air yang ada dalam zeolit mengalami dehidrasi. Sifat dehidrasi zeolit ini berpengaruh terhadap sifat adsorbsinya.

Pemanasan dilakukan dalam oven biasa pada suhu 300-400⁰C (untuk skala laboratorium), atau mengumpulkan tungku putar dengan pemanasan secara penghamparan selama 3 jam atau tanpa penghamparan selama 5-6 jam (skala besar) Pemanasan modernit pada suhu 300⁰C–1000⁰C menyebabkan destruksi struktur kristal, kandungan modernit berkurang hampir 25 % pada suhu 700⁰C.

2. Aktivasi Kimiawi

Aktivasi kimia, dealuminasi adalah yang paling penting dan dominan. Dealuminasi dapat digunakan untuk mengontrol aktivasi keasaman dan untuk mengontrol ukuran pori-pori zeolit. Hal ini sangat penting terutama berhubungan dengan fungsi zeolit sebagai adsorben.

Aktivasi secara kimia dilakukan dengan larutan asam atau basa, dengan

tujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor, dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan.

2. 1.2.2 Zeolit Sintetis

Zeolit mempunyai sifat yang unik yaitu susunan atom maupun komposisinya dapat dimodifikasikan, maka para peneliti berupaya untuk membuat zeolit sintetis yang mempunyai sifat khusus sesuai dengan keperluannya. Berdasarkan perbandingan kadar komponen Si (silikon) and Al (aluminium), zeolit sintetis dikelompokkan menjadi empat, yaitu zeolit kadar Si rendah, zeolit kadar Si (silikon) sedang, zeolit kadar Si (silikon) tinggi dan zeolit Si (silikon) (Sudi, 2006).

2.2 Logam Berat

Logam adalah unsur kimia yang mempunyai sifat-sifat kuat, liat, keras, penghantar listrik dan panas, serta mempunyai titik cair tinggi (Darmono dalam Rizka, 2011). Logam dapat menimbulkan efek-efek khusus dalam makhluk hidup. Menurut Pallar (2004) secara umum bisa dikatakan bahwa semua logam dapat menjadi bahan pencemar yang akan meracuni tubuh makhluk hidup. Sebagai contoh kadmium. Kadmium tergolong katagori khusus karena mempunyai efek yang merugikan tetapi belum tergolong unsur yang sangat beracun. Logam tersebut dapat mengumpul dalam tubuh suatu organisme dan tetap tinggal dalam tubuh dalam jangka waktu lama sebagai racun terakumulasi (Yudha, 2008).

Di Indonesia, pencemaran logam cenderung meningkat sejalan dengan meningkatnya proses industrialisasi. Pencemaran logam dalam lingkungan bisa menimbulkan bahaya bagi kesehatan, baik pada manusia, hewan, tanaman, maupun lingkungan. Logam dibagi dalam 2 jenis (Yulianda dalam Rizka, 2011) yaitu:

1. Logam esensial, yakni logam dalam jumlah tertentu yang sangat dibutuhkan oleh organisme. Dalam jumlah yang berlebihan logam tersebut bisa menimbulkan efek toksik. Contohnya adalah Zn (seng), Cu (tembaga), Fe (besi), Co (kobalt), Mn (mangan) dan lain sebagainya.

2. Logam tidak esensial, yakni logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, bahkan bersifat toksik, seperti Hg (raksa), Cd (kadmium), Pb (timbal), Cr (krom), dan lain-lain.

Amrizal (2008) mengemukakan bahwa logam berat dapat digolongkan kedalam tiga kelompok berdasarkan tingkat toksisitasnya yaitu : 1) Pb (timbal), Cd (kadmium), Cu (tembaga) dan Zn (seng) merupakan logam berat toksik tinggi, 2) Cr (krom), Ni (nikel), dan Co (kobalt) logam berat toksik sedang dan 3) Mn (mangan) dan Fe (besi) logam berat dengan toksik sangat rendah.

Perkembangan industri yang sangat pesat saat ini perlu mendapat perhatian yang khusus karena dapat menimbulkan pencemaran lingkungan (Yudha, 2008). Limbah yang berasal dari limbah industri dapat mengandung bahan-bahan kimia seperti pestisida, herbisida, klorin, logam dan limbah organik lainnya. Salah satu diantaranya yang memiliki sifat berbahaya dan beracun seperti logam Cd yang dapat menyebabkan ekosistem makhluk hidup menjadi rusak atau mati karena dapat menurunkan laju metabolisme serta menurunkan kemampuan reproduksi organisme (Nganro, 2009)

Logam berat adalah unsur-unsur dengan nomor atom 22-92 dan terletak pada periode 3 dan 7 dalam susunan berkala sistim periodik (Yudha, 2008). Selanjutnya Ubbe dan Kadir (1994) mengemukakan logam berat adalah unsur-unsur yang mempunyai berat jenis 5 gr/cm^3 dan dapat terakumulasi dengan organ tubuh didalam organisme dan mempunyai relativitas rendah dan sedang.

Kadmium (Cd) adalah suatu unsur yang jarang ditemukan dalam bentuk murni di alam. Logam berat Cd mempunyai berat 112,41 densitas $8,6 \text{ gr/cm}^3$ dan titik cair 321°C (Hutagalung, 1994). Kadmium berwarna putih keperakan menyerupai aluminium, logam ini digunakan sebagai pelapis logam lain seperti halnya seng, tetapi kualitasnya lebih baik dan harganya lebih mahal.

Unsur logam ditemukan secara luas diseluruh permukaan bumi mulai dari tanah, batu, bahkan pada lapisan atmosfer bumi, namun dalam keadaan yang sangat rendah. Untuk dapat masuk kedalam tatanan lingkungan, unsur Cd masuk melalui bermacam sumber.

Menurut Forstner (1998) faktor yang menyebabkan logam berat difaktorkan sebagai pencemar adalah karena logam berat tidak dapat terurai melalui degradasi seperti pencemaran organik dan dapat terakumulasi kedalam lingkungan, kemudian terikat dengan senyawa organik dan anorganik melalui absorbsi dan pembentukan senyawa kompleks.

Logam didalam air ditemukan dalam bentuk terlarut yaitu ion logam bebas air dan logam yang membentuk kompleks dengan senyawa organik dan anorganik dan dalam bentuk tidak terlarut terdiri dari partikel yang membentuk koloid dan senyawa kompleks metal teradsorpsi pada zat tersuspensi.

Daya racun logam berat tergantung kepada jenis dan kadar efek sinergis dan sifat kimia lainnya. Faktor lingkungan seperti pH, temperatur, oksigen terlarut, dan salinitas akan menyebabkan meningkatnya toksisitas logam berat (Hutagalung, 1994).

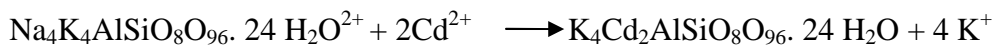
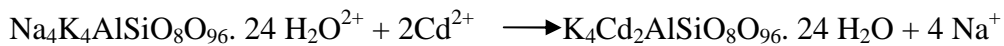
Thoha (1991) mengemukakan bahwa bahan pencemar logam berat yang masuk kedalam tanah dan udara akan dapat membunuh organisme yang paling peka sehingga mengganggu rantai makanan. Agar organisme dapat hidup layak yaitu tumbuh dan berkembang secara normal maka diperlukan batas yang diperkenankan untuk kandungan logam berat yang bersifat toksik terhadap organisme.

2.3 Adsorpsi Kadmium (Cd) oleh Zeolit ($\text{Na}_4\text{K}_4\text{AlSiO}_8\text{O}_{96} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$)

Adsorpsi dapat diartikan sebagai suatu proses melekatnya molekul-molekul atau suatu zat pada permukaan lainnya terjadi oleh adanya gaya atraktif antara molekul-molekul teradsorpsi dengan material pengadsorpsi (Adsorban). Zeolit mempunyai kemampuan mengikat jumlah ion dan molekul yang terdapat didalam larutan maupun gas, sifat tersebut dimungkinkan oleh bentuk kristal zeolit yang mempunyai struktur berpori dengan saluran-saluran dalam rangka kristal. Disamping itu zeolit dapat juga mengikat sejumlah besar molekul yang ukurannya cukup dan sesuai dengan bentuk ukuran saluran. Zeolit dapat bekerja sebagai pengayak molekuler dari pengadsorpsi secara selektif (Suhardi, 1998).

Zeolit sebagai padatan dapat mengadsorpsi ion dari suatu larutan dengan cara ion dalam larutan menggantikan tempat ion yang ada dalam zeolit. Indriana (1999) menyatakan bahwa sifat zeolit sangat menarik karena dapat dimanfaatkan sebagai penyerap (adsorban), sedangkan rongga yang terisi ion-ion logam (kation) seperti Natrium (Na) dan Kalium (Ka) menyebabkan zeolit dapat digunakan sebagai penakar ion penapis molekul.

Proses penyerapan kadmium terjadi melalui mekanisme pertukaran kation sebagai berikut:



2.3.1 Koagulasi

Koagulasi adalah dicampurkannya koagulan dengan pengadukan secara cepat guna mendistabilisasi koloid dan solid tersuspensi yang halus, dan masa inti partikel, kemudian membentuk jonjot mikro (mikro flok).

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi sebagai (Tjokrokusumo Dalam Rizka, 2011) berikut :

a. Suhu air

Suhu air yang rendah mempunyai pengaruh terhadap efisiensi proses koagulasi. Bila suhu air diturunkan, maka besarnya daerah pH yang optimum pada proses koagulasi akan berubah dan merubah pembubuhan dosis koagulan.

b. Derajat Keasaman (pH)

Proses koagulasi akan berjalan dengan baik bila berada pada daerah pH yang optimum. Untuk tiap jenis koagulan mempunyai pH optimum yang berbeda satu sama lainnya.

c. Jenis Koagulan

Pemilihan jenis koagulan didasarkan pada pertimbangan segi ekonomis dan daya efektivitas daripada koagulan dalam pembentukan flok. Koagulan dalam bentuk larutan lebih efektif dibanding koagulan dalam bentuk serbuk atau butiran.

d. Kadar ion terlarut

Pengaruh ion-ion yang terlarut dalam air terhadap proses koagulasi yaitu : pengaruh anion lebih besar daripada kation. Dengan demikian ion natrium, kalsium dan magnesium tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap proses koagulasi.

e. Tingkat kekeruhan

Pada tingkat kekeruhan yang rendah proses destabilisasi akan sukar terjadi. Sebaliknya pada tingkat kekeruhan air yang tinggi maka proses destabilisasi akan berlangsung cepat. Tetapi apabila kondisi tersebut digunakan dosis koagulan yang rendah maka pembentukan flok kurang efektif.

f. Dosis koagulan

Untuk menghasilkan inti flok yang lain dari proses koagulasi dan flokulasi sangat tergantung dari dosis koagulasi yang dibutuhkan. Bila pembubuhan koagulan sesuai dengan dosis yang dibutuhkan maka proses pembentukan inti flok akan berjalan dengan baik.

g. Kecepatan pengadukan

Tujuan pengadukan adalah untuk mencampurkan koagulan ke dalam air. Dalam pengadukan hal-hal yang perlu diperhatikan adalah pengadukan harus benar-benar merata, sehingga semua koagulan yang dibubuhkan dapat bereaksi dengan partikel-partikel atau ion-ion yang berada dalam air. Kecepatan pengadukan sangat berpengaruh terhadap pembentukan flok bila pengadukan terlalu lambat mengakibatkan lambatnya flok terbentuk dan sebaliknya apabila pengadukan terlalu cepat berakibat pecahnya flok yang terbentuk.

h. Alkalinitas

Alkalinitas dalam air ditentukan oleh kadar asam atau basa yang terjadi dalam air (Tjokrokusumo, 2002). Alkalinitas dalam air dapat membentuk flok dengan menghasilkan ion hidroksida pada reaksi hidrolisis koagulan.

2.3.2. Flokulasi

Flokulasi adalah pengadukan perlahan terhadap larutan jonjot mikro yang menghasilkan jonjot besar dan kemudian mengendap secara cepat (Tjokrokusumo Dalam Rizka, 2011).

Ada dua jenis proses flokulasi yaitu :

a. Flokulasi perikinetik

Flok yang diakibatkan oleh adanya gerak *thermal* (panas) yang dikenal sebagai gerak Brown, prosesnya disebut flokulasi perikinetik. Gerak acak dari partikel-partikel koloid yang ditimbulkan karena adanya tumbukan molekul-molekul air, akan mengakibatkan terjadinya gabungan antar partikel lebih sangat kecil $1 < 100$ milimikron.

b. Flokulasi orthokinetik

Flokulasi orthokinetik adalah suatu proses terbentuknya flok yang diakibatkan oleh terbentuknya gerak media (air) misalnya pengadukan. Pada umumnya kecepatan aliran cairan akan berubah terhadap tempat dan waktu. Perubahan kecepatan dari satu titik ke titik lainnya dikeal sebagai gradien kecepatan, dengan notasi G. Dengan adanya perbedaan kecepatan aliran media cair akan mempunyai aliran kecepatan yang berbeda pula akibatnya akan terjadi tumbukan atau kontak antar partikel.

2.4 Pengaruh Logam Berat Cd Bagi Organisme dan Manusia

Logam berat berefek negatif bagi manusia dan organisme karena logam berat yang terlarut dalam tanah dan air pada konsentrasi tertentu akan berubah fungsi menjadi sumber racun. Logam berat bisa sebagai *nutrient* dalam berbagai proses metabolisme pada organisme dan bisa sebagai racun yang sangat berbahaya bila dalam jumlah berlebihan. Logam berat dalam metabolisme bersifat racun karena bereaksi dengan ligan dan mengganggu kerja enzim dalam tubuh organisme (Zulfitri, 1990).

Rallar (1994) mengemukakan logam berat tersebut diketahui dapat mengumpul dalam tubuh organisme dan akan tetap tinggal dalam tubuh pada waktu yang lama sebagai racun yang terakumulasi. Keracunan kronis yang

disebabkan oleh kadmium (Cd) umumnya berupa kerusakan-kerusakan pada sistim fisiologis tubuh. Sistim-sistim yang dapat rusak akibat keracunan kronis kadmium (Cd) adalah pada sistim urinaria (ginjal), sistim respirasi (pernafasan), sistim sirkulasi dan jantung.

Jalur utama bagi penyerapan toksikan ke dalam tubuh organisme dapat terjadi melalui saluran pencernaan dan saluran pernapasan. Setelah suatu toksikan memasuki darah, maka akan terdistribusi dengan cepat ke seluruh tubuh dan akan terjadi pengikatan dan penyimpanan (Rizka, 2011).

2.5 Proses Pelapisan Logam

Proses *elektroplating* atau lebih dikenal dengan proses pelapisan logam bertujuan untuk memperindah lapisan logam menjadi lebih mengkilat. Dalam pelapisan ini ada empat proses (Lampiran A). Proses pertama penghilang lemak dengan menggunakan larutan Bezena, Trikloroetilen, Metil Klorida, Toluena, Karbon Tetraklorida, kemudian dilanjutkan pada proses kedua yaitu *descaling* dengan menggunakan larutan Kostik, Sodium Karbonat, Boraks, Sabun. Proses ketiga pengasaman dengan menggunakan larutan H₂SO₄ (asam sulfat) dan HCl (hidrogen klorida) yang ditempatkan pada sebuah tangki larutan yang mengandung Cu (tembaga), Cr (krom), Ni (nikel), Zn (seng), Asam Alkali, CN, Cd (kadmium), Pb (Timbal), Timah, Au (emas), Ag (perak), Pt (platina) semua proses di atas selalu diakhiri dengan melakukan pembilasan pada benda yang dilapisi logam. Air bilasan inilah yang menjadi limbah yang menjadi logam berat pada unit pengolahan limbah Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru (Suhardi, 1998).

2.6 Parameter Kualitas Air

2.6.1 Total Padatan Tersuspensi (TPT)

Menurut Alaerts (2004) penurunan kadar TPT disebabkan karena terjadinya proses flokulasi secara optimum dimana sebagian besar zeolit tidak larut tetapi mengendap sebagai flok yang dapat mengurung koloid dan membawanya kebawah. Penempelan molekul-molekul zeolit pada permukaan

koloid ini akan mengubah muatan listriknya. Dimana Al (aluminium) bermuatan positif sedangkan koloid biasanya bermuatan negatif.

Zeolit memiliki daya adsorpsi fisika dan kimia, adsorpsi fisika yaitu adsorpsi yang terjadi pada molekul disebabkan gaya antar molekul dari adsorben dengan molekul adsorbat dan bersifat *irreversible*. Sedangkan adsorpsi kimia terjadi karena ikatan kimia antara adsorben dengan adsorbat dan bersifat *reversible*.

Menurut Fardiaz (2002) padatan tersuspensi merupakan padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak larut dan tidak dapat mengendap langsung. Menurut ukuran padatan tersuspensi dibedakan dua yaitu padatan tersuspensi biasa terdiri dari padatan yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen seperti bahan organik dan padatan tersuspensi koloidal (padatan koloid) protein, sedangkan padatan terlarut merupakan padatan yang mempunyai ukuran yang lebih kecil padatan tersuspensi yang terdiri dari senyawa organik akan larut dalam air.

Menurut Wardhana (2009) adanya padatan tersuspensi mengganggu aktifitas organisme, karena dapat mengganggu kecerahan air yang menyebabkan penetrasi cahaya matahari ke dalam air akan terhambat, akibatnya proses fotosintesis akan terganggu. Bahwa kekeruhan yang disebabkan padatan tersuspensi akan berdampak negatif terhadap organisme, sehingga mengganggu proses pernafasan yang dapat mengakibatkan kematian atau pada saat melakukan pernafasan terjadi gesekan-gesekan oleh partikel halus sehingga akan berakibat organisme tersebut akan lebih mudah terserang bakteri atau jamur.

Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi kegiatan Industri Pelapisan Logam, kandungan maksimum Total Padatan Tersuspensi (TPT) yang dapat dibuang ke lingkungan adalah 20 mg/l dengan beban pencemaran maksimum 0,40 gram/ton (Kementrian Lingkungan Hidup, 2001).

2.6.2 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu parameter air yang penting untuk diketahui, karena banyak reaksi kimia dan biokimia yang terjadi pada tingkat pH tertentu. pH juga dapat digunakan sebagai indikator parameter kimia untuk mengetahui kejadian pencemaran dalam perairan (Forteath, 2004).

Derajat keasaman (pH) adalah ukuran dari konsentrasi hidrogen dan menunjukkan sifat keasaman dan kebebasan. Sifat keasaman dan kebasahan air sangat penting dalam menentukan kesetimbangan karbonat, bikarbonat, dan karbondioksida dalam air. Dalam perairan penyimpanan pH adalah terutama disebabkan terjadinya hidrolisa garam-garam dari asam kuat dan basah lemah atau sebaliknya (Forteath, 2004).

Karena karbonat merupakan komponen yang terbanyak di alam, maka kebanyakan air di alam sedikit bereaksi basah. Tingkat pH yang rendah akan menyebabkan meningkatnya toksisitas logam terlarut, selain itu pH mempunyai pengaruh yang besar terhadap organisme, sehingga sering digunakan sebagai penunjuk untuk menyatakan baik buruknya kualitas air sebagai lingkungan hidup (Forteath, 2004).

Berdasarkan Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Pelapisan Logam yang telah ditetapkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan hidup Nomor: KEP-51/MENLH/10/1995. Menurut baku mutu limbah cair pH yang diperbolehkan yaitu antara 6.0 – 9.0 per liter air limbah (Kementrian Lingkungan Hidup, 2001).

2.6.3 Suhu

Suhu merupakan pengaruh utama proses alami dalam lingkungan perairan yang dapat mempengaruhi kehidupan dan pertumbuhan organisme perairan. Suhu air limbah sangat dipengaruhi oleh lingkungan seperti suhu udara disekitarnya dan densitas air tersebut. Menurut Boyd (2009) di daerah tropis suhu berkisar antara 25⁰C-32⁰C masih layak untuk kehidupan organisme.

Suhu menyatakan besaran fisika yang menyatakan banyaknya panas yang terkandung dalam suatu benda, semakin tinggi suhu akan menyebabkan toksisitasnya daya racun zat pencemar semakin tinggi, pertumbuhan organisme

mahluk hidup lainnya akan terganggu. Dengan meningkatnya suhu maka kandungan oksigen dalam air juga akan berkurang, sedangkan organisme membutuhkan banyak oksigen untuk dapat hidup secara normal. Suhu suatu perairan dipengaruhi oleh radiasi dan posisi matahari, letak geografis, musim dan kondisi awan, proses interaksi air dan udara serta penguapan dan hembusan angin di daerah tersebut (Hutagalung, 2004). Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan hidup Nomor: KEP-51/MENLH/10/1995. Menurut baku mutu limbah cair, suhu yang diperbolehkan yaitu antara 27⁰C- 32⁰C (Kementrian Lingkungan Hidup, 2001).

2.7 Desain Eksperimen

Desain eksperimen atau rancangan percobaan adalah suatu rancangan percobaan (dengan setiap langkah tindakan yang benar-benar terdefiniskan) sedemikian rupa sehingga informasi yang berhubungan dengan atau yang diperlukan untuk persoalan yang sedang diteliti dapat dikumpulkan (Sudjana, 1994).

Selain itu, desain eksperimen juga didefinisikan sebagai suatu pengujian atau serangkaian pengujian yang bertujuan untuk melakukan perubahan terhadap variabel-variabel input dari proses atau sistem sehingga dapat meneliti dan mengidentifikasi sebab perubahan dari *output* (Sudjana, 1994).

Eksperimen dapat diartikan sebagai sebuah atau sekumpulan percobaan yang dilakukan melalui perubahan-perubahan yang terencana terhadap variabel *input* suatu proses sehingga dapat ditelusuri penyebab dan faktor-faktor sehingga membawa perubahan pada *output* sebagai respon dari eksperimen yang telah dilakukan (Sudjana, 1994).

Umumnya eksperimen digunakan untuk mempelajari *performance* proses atau sistem yang biasanya divisualisasikan seperti kombinasi mesin, metode, orang dan sumber daya lainnya yang mempengaruhi proses perubahan *input* menjadi *output*. Karena itu perlu digunakan suatu pendekatan statistik yang diaplikasikan pada proses eksperimen (Suhardi, 1998).

Beberapa macam tujuan eksperimen adalah menentukan :

1. Variabel yang paling mempengaruhi respon
2. Faktor yang berpengaruh sehingga respon mendekati nilai yang diharapkan, meminimalkan variabilitas dan *uncontrollable factor*.

Faktor merupakan variabel bebas yang mempengaruhi hasil eksperimen (*independent variable*). Level merupakan nilai spesifikasi dari faktor kuantitatif suatu faktor dengan faktor lain yang dapat mempengaruhi respon. *Run* merupakan jumlah kombinasi yang harus dipenuhi dalam suatu desain eksperimen. *Run* berarti jumlah level x jumlah replikasi. Replikasi adalah jumlah pengulangan dalam melakukan percobaan.

Desain eksperimen juga digunakan sebagai metode dalam membuat suatu desain (*Engineering Design*) untuk suatu produk baru atau memperbaiki yang sudah ada. Beberapa aplikasi dan metode desain eksperimen dalam hal *engineering design* antara lain (Sudjana, 1994).

1. Mengevaluasi dan membandingkan konfigurasi dasar *design*
2. Mengevaluasi alternatif-alternatif produk

Adapun beberapa prinsip dalam metode desain eksperimen yaitu :

1. *Randomization*

Dimana alokasi eksperimental dan urutan percobaan dilakukan melalui penentuan secara acak (*randomly determined*).

2. Replikasi

Pengulangan tiap kombinasi faktor secara independen.

3. *Blocking*

Blocking adalah sebuah teknik rancangan yang digunakan untuk meningkatkan ketepatan perbandingan antar yang diteliti. Ini juga digunakan untuk mengurangi atau mengeliminasi variabilitas yang ditransmisi dari *nuisance factors* (faktor yang mungkin berpengaruh pada respon tapi biasanya tidak memiliki kepentingan langsung).

2.7.1 Prinsip Dasar Desain Eksperimen

Untuk memahami desain eksperimen yang akan diuraikan perlulah dimengerti prinsip-prinsip dasar yang lazim digunakan dan dikenal. Prinsip-prinsip tersebut adalah yang biasa dinamakan perlakuan, unit eksperimen, dan kekeliruan eksperimen (Sudjana, 2004) :

a. Perlakuan

Perlakuan diartikan sekumpulan kondisi eksperimen yang akan digunakan terhadap unit eksperimen dalam ruang lingkup desain yang dipilih. Perlakuan ini biasa berbentuk tunggal atau terjadi dalam bentuk kombinasi.

b. Unit eksperimen

Dengan ini dimaksudkan unit dikenal perlakuan tunggal (mungkin merupakan gabungan beberapa faktor) dalam sebuah replikasi eksperimen dasar.

c. Kekeliruan eksperimen

Kekeliruan eksperimen menyatakan kegagalan dari dua unit eksperimen identik yang dikenal perlakuan untuk memberikan hasil yang sama. Ini bisa terjadi karena, misalnya waktu menjalankan eksperimen, kekeliruan pengamatan variasi bahan eksperimen variasi antar unit eksperimen dan pengaruh gabungan semua faktor tambahan yang mempengaruhi karakteristik yang sedang dipelajari.

2.8 Rancangan Acak Lengkap

Rancangan acak lengkap didefinisikan sebagai suatu eksperimen di mana kita hanya mempunyai sebuah faktor yang nilainya berubah-ubah (Sudjana, 1994). Faktor yang diperhatikan dapat memiliki sejumlah taraf dengan nilai yang bisa kuantitatif, kualitatif, bersifat tetap ataupun acak.

Pengacakan mengenai eksperimen tidak ada pembatasan, dan dalam hal demikian kita peroleh desain yang diacak secara lengkap atau sempurna yang biasa kita sebut dengan desain rancangan acak lengkap (RAL). Jadi rancangan acak lengkap adalah desain di mana perlakuan dikenakan sepenuhnya secara acak

kepada unit-unit eksperimen, atau sebaliknya. Dengan demikian tidak terdapat batasan terhadap pengacakan seperti misalnya dengan adanya pemblokkan dan pengalokasian perlakuan terhadap unit-unit eksperimen. Karena bentuknya sederhana, maka desain ini banyak digunakan.

Akan tetapi satu hal harus diingat, bahwa desain ini hanya dapat digunakan apabila persoalan yang dibahas mempunyai unit-unit eksperimen yang bersifat homogen. Jika hal ini terjadi, maka pemblokkan harus diadakan agar efisiensi desain menjadi meningkat. Prosedur rancangan acak lengkap juga mempergunakan prosedur uji hipotesis yang sama dengan prosedur uji hipotesis yang lain yaitu (Sudjana, 1994) :

- a. Menentukan hipotesis nol dan hipotesis alternatifnya.
- b. Menentukan taraf nyata.
- c. Menentukan uji statistik.
- d. Menentukan aturan pengambilan keputusan.
- e. Menghitung F dan mengambil keputusan.

Untuk membantu perhitungan F disusunlah tabel Analisis Variansi (ANOVA). Tabel ini adalah bentuk yang mudah untuk menyimpan hasil perhitungan. Format umum untuk menyimpan hasil analisis variansi satu arah ditunjukkan pada tabel berikut :

$$SSTotal = \sum_{j=1}^b (\bar{x}_j^2 + \bar{x}_{j2}^2 + \bar{x}_{j3}^2 \dots + \bar{x}_{jn}^2) - \frac{Y_{ij}}{N} \quad \text{.2-1}$$

$$SSA = \frac{1}{n} (Y_i^2 + Y_j^2 + Y_k^2) - \frac{Y_{ij}}{N} \dots\dots\dots 2-2$$

$$SSB = \frac{1}{n} (Y_{ii}^2 + Y_{jj}^2 + Y_{kk}^2) - \frac{Y_{ij}}{N} \dots\dots\dots 2-3$$

$$SSsubtotal = \frac{1}{a} (Y_{i.}^2 + Y_{i..}^2 + Y_{i..}^2 \dots + Y_{in.}^2) - \frac{Y_{ij}}{N} \dots\dots\dots 2-4$$

$$SSAB = SSsubtotal - (SSA + SSB) \dots\dots\dots 2-5$$

$$SS_{Error} = SS_{Total} - SS_{Subtotal} \dots\dots\dots 2-6$$

$$F_{Hitung} = \frac{MS_{Total}}{MS_{Error}} \dots\dots\dots 2-7$$

$$F_{Tabel} (\alpha\%) = F_{(N-a), (a-1)} \dots\dots\dots 2-8$$

2.9 Analisis Variansi (Analysis of Variances)

Di dunia industri, pemecahan masalah dengan Analisis Variansi (ANOVA) memberikan banyak keuntungan terutama dalam mengambil keputusan dengan mempertimbangkan data-data yang sudah ada (Sudjana, 2004).

Terlepas dari, apakah kita ingin menentukan suatu populasi mempunyai lebih banyak populasi dibandingkan populasi lain atau kita ingin menentukan validasi asumsi mengenai uji statistik, yang pertama kita lakukan adalah membuat asumsi awal yang lebih kita kenal dengan simbol H_0 . Ada beberapa prosedur dalam melakukan analisis variansi yang diantaranya (Sudjana, 2004) adalah :

1. Menentukan hipotesis nol dan hipotesis alternatifnya.
2. Menentukan taraf nyata.
3. Menentukan uji statistik.

Tabel 2.1 Format Rancangan Penelitian

Waktu Pengamatan	Z15	Z70	Z125	Hitung
18	JKA	k-n	$\frac{JKA}{k-1} = s_1^2$	$\frac{s_1^2}{s_2^2}$
24	JKG	k(n-1)	$\frac{JKG}{k(n-1)} = s_2^2$	
Total	JKT	nk-1		

Perlu diingat bahwa salah satu dari asumsi dasar ANOVA adalah variansi populasi sama untuk setiap perlakuan. Nilai variansi populasi tersebut dinamakan kuadrat tengah kesalahan (*mean square error*) dan diperoleh dari $JKG/k(n-1)$.

Keterangan :

- a) S_1^2 adalah rata-rata hitung antar perlakuan atau *mean square between treatments (MSTR)*.
- b) S_2^2 adalah kuadrat tengah karena pengaruh kesalahan atau kuadrat tengah perlakuan atau *mean square due to error (MSE)*. Kuadrat tengah berarti jumlah kuadrat dibagi derajat bebas. Hasil pembagian ini adalah sama dengan rumus hitung varians. Jadi suatu kuadrat tengah adalah ukuran keragaman.
- c) JKA adalah jumlah kuadrat antar perlakuan atau *sum of square treatment (SST)*. Dapat dihitung dengan rumus :

$$\boxed{JKA = \sum_{i=1}^k \frac{T^2}{n} - \frac{T^2}{nk}} \dots\dots\dots(2-9)$$

- d) JKT adalah jumlah dari keragaman antar kolom dan antar baris atau SS total. Dapat dihitung dengan rumus :

$$\boxed{JKT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 - \frac{T^2}{nk}} \dots\dots\dots(2-10)$$

- e) JKG adalah jumlah kuadrat kesalahan atau *sum of square error (SSE)*. Dapat dihitung dengan rumus :

$$\boxed{JKG = JKT - JKA} \dots\dots\dots (2-11)$$

Karena rasio kedua nilai variansi (kuadrat tengah) mengikuti bentuk distribusi F maka kita dapat menghitung nilai F sebagai berikut :

$$\boxed{F = \frac{\frac{JKA}{k-1}}{\frac{JKG}{k(n-1)}} = \frac{S_1^2}{S_2^2}} \dots\dots\dots(2-12)$$

Misalkan dalam melakukan prosedur Analisis Variansi (ANOVA), kita mendapatkan bahwa hipotesis nol ditolak. Penolakan tersebut membuat kita menyimpulkan bahwa tidak semua nilai tengah sama. Terkadang kita cukup puas dengan kesimpulan itu, tetapi pada saat lain mungkin kita ingin mengetahui nilai tengah perlakuan mana yang berbeda.

Beberapa dasar pengambilan keputusan dalam analisis variansi

1. Bila $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima, artinya tidak ada pengaruh antara variabel bebas terhadap variabel terikat.
2. Bila $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak atau H_a diterima, artinya ada Pengaruh antara variabel bebas terhadap variabel terikat.

Atau

1. Bila probabilitas $F > 0,05$, maka H_0 diterima
2. Bila probabilitas $F < 0,05$, maka H_0 ditolak atau H_a diterima

Ada beberapa prosedur untuk menjawab pertanyaan itu. Pada kasus tersebut, distribusi t dapat digunakan sebagai dasar pengujian ini. Perlu diingat bahwa salah satu asumsi dasar Analisis Variansi (ANOVA) adalah variasi populasi sama untuk setiap perlakuan. Nilai *varians* populasi tersebut dinamakan kuadrat tengah kesalahan (*mean square error*), disingkat MSE, dan diperoleh dari $JKG/k(n-1)$. Satu selang kepercayaan untuk beda dua nilai tengah populasi diperoleh :

$$\left(\bar{X}_1 - \bar{X}_2 \right) \pm t \sqrt{MSE \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)} \quad \dots\dots\dots(2-13)$$

dimana :

\bar{X}_1 = rata-rata pertama.

\bar{X}_2 = rata-rata perlakuan kedua.

n_1 = banyaknya pengamatan pada perlakuan pertama

n_2 = banyaknya pengamatan pada perlakuan kedua.

t diperoleh dari tabel t.

t derajat bebas adalah $k(n-1)$.

Bila selang kepercayaan tersebut mengandung nilai nol, maka tidak terdapat perbedaan pada kedua nilai tengah. Sebagai contoh, bila nilai batas bawah selang kepercayaan adalah negatif dan nilai batas atasnya positif, maka kedua nilai tengah tidak berbeda (Sudjana, 2004).

Penyelidikan tentang perbedaan nilai tengah adalah proses bertahap. Tahap awal adalah menyusun tabel ANOVA. Hanya jika hipotesis nol, yang menyatakan bahwa nilai tengah sama ditolak maka analisis tentang nilai tengah dapat dilakukan (Sudjana, 2004).

Perhitungan statistik uji F, keragaman berasal dari dua sumber. Pertama, keragaman antara perbedaan nilai tengah berlaku. Kedua, keragaman dimana setiap perlakuan. Jadi, keragaman mungkin berasal dari perlakuan atau dari suatu faktor acak saja (Sudjana, 2004).

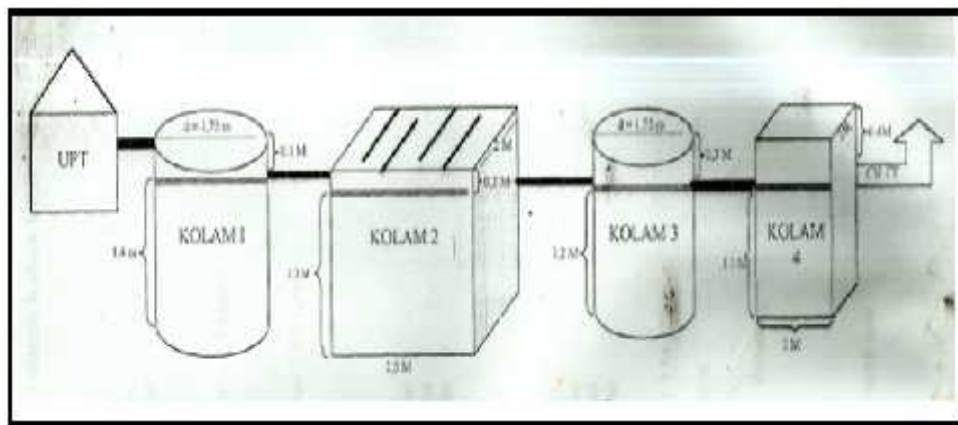
2.10 Pengolahan Limbah UPT. Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru

Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru Mulai beroperasi pada akhir tahun 1999 setelah kembalinya beberapa pegawai Dinas Perindustrian Provinsi Riau mengikuti pelatihan pelapisan logam di Medan. Untuk mencegah, menanggulangi dan mengendalikan dampak lingkungan yang dapat ditimbulkan oleh kegiatan produksi pelapisan logam Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru telah memiliki Unit Pengolahan limbah (UPL) cair yang menggunakan sirkulasi kolam. Unit Pengolahan Limbah Terdiri atas 4 kolam yang masing-masing terhubung pada bagian atas kolam tersebut.

Kolam 1 merupakan kolam penampungan pertama berbentuk lingkaran tempat menampung limbah cair yang keluar dari *inlet* Unit Pelapisan Terpadu yang berbentuk lingkaran seperti sumur dengan garis tengah 1.75 meter dan kedalaman sekitar 1.5 meter. Kemudian limbah yang telah penuh akan mengalir pada kolam kedua karena pada bagian atasnya sudah dibuat saluran yang lebih rendah dari permukaan kolam sekitar 10 cm. pada kolam kedua berbentuk empat persegi panjang dengan ukuran panjang 2.5 x 2 meter dengan kedalaman 1.5 meter dengan tinggi air limbah dari permukaan yang menerima limbah cair dari

saluran limbah pertama. Pada saluran limbah kedua terdapat sekat-sekat dinding yang berfungsi agar pergerakan dan sirkulasi air limbah semakin besar. Dengan kata lain semakin banyak limbah cair yang masuk ke dalam kolam penampungan yang mempunyai sekat dengan luas yang tidak sama membuat pergerakan air semakin besar karena terjadi benturan-benturan antara air dengan dinding sekat yang pada akhirnya akan mendorong gas-gas yang tidak diinginkan dan juga akan meningkatkan kadar oksigen yang ada didalam air limbah.

Saluran limbah ketiga memiliki fungsi yang sama dengan kolam pertama menampung aliran limbah dari kolam kedua ke kolam ketiga ini kembali berbentuk lingkaran. Selanjutnya limbah dialirkan ke kolam empat sebagai kolam terakhir karena setelah limbah cair ditampung pada kolam penampungan ini, limbah tersebut dialirkan terus melalui parit sebagai tempat pembuangan akhir. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.2 Gambar Unit Pengolahan Limbah UPT. Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru (Sumber : UPT, 2013)

2.11 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output. Terdapat beberapa alasan orang menggunakan logika *fuzzy* (Widodo Dalam Lahmudin, 2012), antara lain adalah :

1. Konsep logika *fuzzy* mudah dimengerti. Konsep matematis yang mendasari penalaran *fuzzy* sangat sederhana dan mudah dimengerti.
2. Logika *fuzzy* sangat fleksibel.
3. Logika *fuzzy* memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.

4. Logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi-fungsi *nonlinear* yang sangat kompleks.
5. Logika *fuzzy* dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
6. Logika *fuzzy* dapat bekerja sama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
7. Logika *fuzzy* didasarkan pada bahasa alami.

Beberapa aplikasi logika *fuzzy*, antara lain adalah (Widodo Dalam Lahmudi, 2012) :

1. Pada tahun 1990 pertama kali dibuat mesin cuci dengan logika *fuzzy* di Jepang (*Matsushita Electric Industrial Company*). Sistem *fuzzy* digunakan untuk menentukan putaran yang tepat secara otomatis berdasarkan jenis dan banyaknya kotoran serta jumlah yang akan dicuci. Input yang digunakan adalah : seberapa kotor, jenis kotoran dan banyaknya yang dicuci. Mesin ini menggunakan sensor optik, mengeluarkan cahaya ke air dan mengukur bagaimana cahaya tersebut sampai ke ujung lainnya. Makin kotor maka sinar yang sampai makin redup. Disamping itu mesin juga dapat menentukan jenis kotoran (daki atau minyak).
2. Transmisi otomatis pada mobil. Mobil nissan telah menggunakan sistem *fuzzy* pada transmisi otomatis dan mampu menghemat bensin 12-17%.
3. Kereta bawah tanah sendai mengontrol pemberhentian otomatis pada daerah tertentu.
4. Ilmu kedokteran dan biologi, seperti sistem diagnosis yang didasarkan pada logika *fuzzy*, penelitian kanker, manipulasi peralatan prostetik yang didasarkan pada logika *fuzzy*, dan lain-lain.
5. Manajemen dan pengambilan keputusan, seperti manajemen basis data yang didasarkan pada logika *fuzzy*, tata letak pabrik yang didasarkan pada logika *fuzzy*, sistem pembuat keputusan di militer yang didasarkan pada logika *fuzzy*, pembuatan *games* yang didasarkan pada logika *fuzzy*.

6. Ekonomi, seperti pemodelan *fuzzy* pada sistem pemasaran yang kompleks, dan lain-lain.
7. Klasifikasi dan percobaan pola.
8. Psikologi, seperti logika *fuzzy* untuk menganalisis kelakuan masyarakat, pencegahan dan investigasi kriminal, dan lain-lain.
9. Ilmu-ilmu sosial, terutama untuk pemodelan informasi tidak pasti
10. Ilmu lingkungan, seperti kendali kualitas air, prediksi cuaca, dan lain-lain
11. Teknik, seperti perancangan jaringan komputer, prediksi adanya gempa bumi, dan lain-lain.
12. Riset operasi, seperti penjadwalan dan pemodelan, pengalokasian, dan lain-lain.
13. Peningkatan kepercayaan, seperti kegagalan diagnosis, berbagai kasus inpeksi-inpeksi dan *monitoring* produksi.

2.12 Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* didasarkan pada gagasan untuk memperluas jangkauan fungsi karakteristik sedemikian hingga fungsi tersebut akan mencakup bilangan real pada interval $[0,1]$. Nilai keanggotaannya menunjukkan bahwa suatu *item* dalam semesta pembicaraan tidak hanya berada pada 0 atau 1, namun juga nilai yang terletak diantaranya. Dengan kata lain, nilai kebenaran suatu *item* tidak hanya bernilai benar atau salah. Nilai 0 menunjukkan salah, nilai 1 menunjukkan benar, dan masih ada nilai-nilai yang terletak antara benar dan salah (Widodo Dalam Lahmudi, 2012).

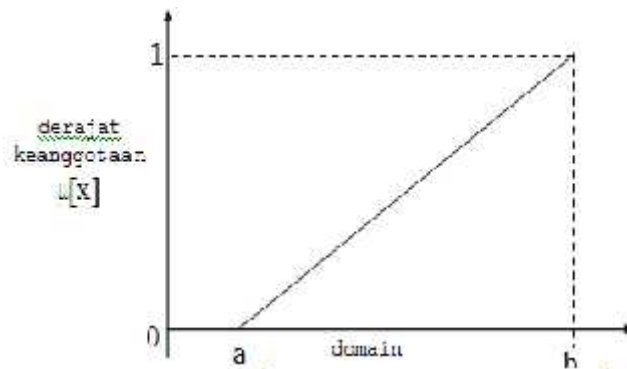
2.13 Fungsi Keanggotaan

Fungsi Keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi (Widodo Dalam Lahmudi, 2012)

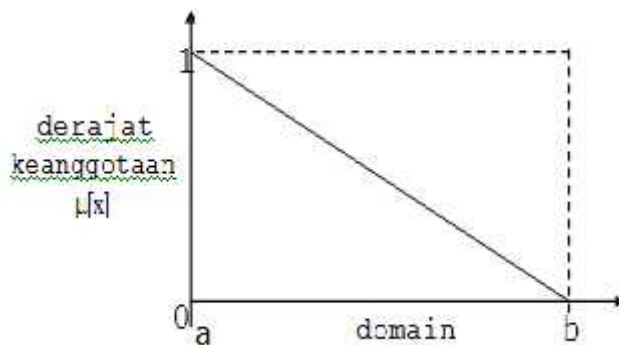
Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan (Dhansipp Dalam Lahmudi, 2009)

1. Representasi Linear

Pada representasi linear, pemetaan input ke derajat 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 ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Representasi Linear Naik



Gambar 2.4 Representasi Linear Turun

Fungsi Keanggotaan Representasi Linear Naik :

$$u[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ (x - a) / (b - a); & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \dots\dots(2-14)$$

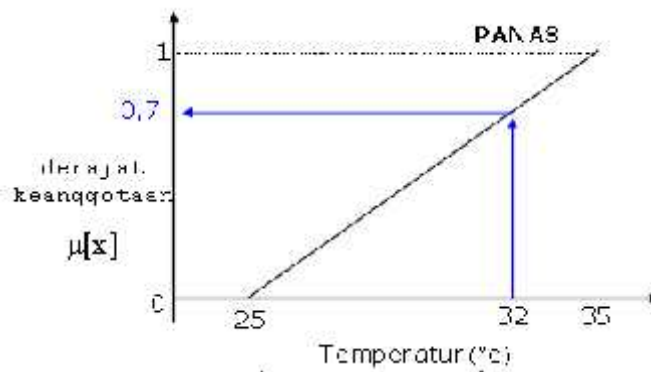
Fungsi Keanggotaan Representasi Linear Turun :

$$\mu[x] = \begin{cases} (b - x)/(b - a); & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases} \dots\dots\dots(2-15)$$

Contoh 1 :

Fungsi keanggotaan untuk himpunan PANAS pada variabel temperatur ruangan seperti terlihat pada Gambar 2.5

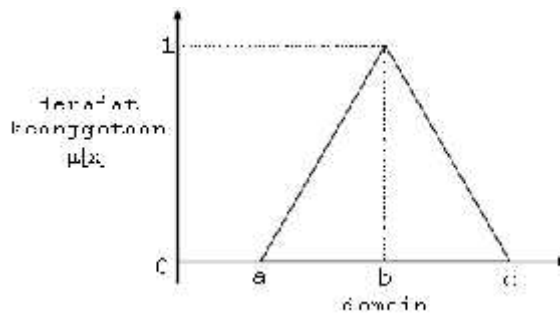
$$\begin{aligned} \mu_{\text{PANAS}}[32] &= (32-25)/(35-25) \\ &= 7/10 = 0,7 \end{aligned}$$



Gambar 2.5 Himpunan *Fuzzy* : PANAS

2. Representasi Kurva Segitiga

Kurva Segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis (linear) seperti terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Representasi Kurva Segitiga

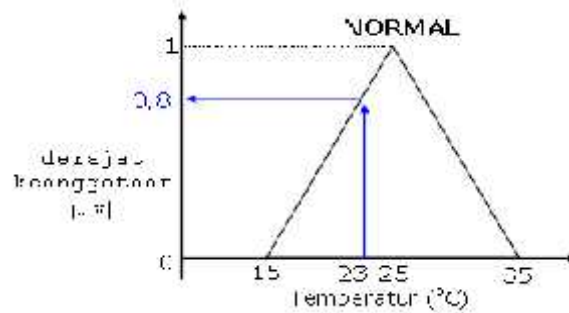
Fungsi Keanggotaan Representasi Kurva Segitiga:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x - a)/(b - a); & a \leq x \leq b \\ (b - x)/(c - b); & b \leq x \leq c \end{cases} \dots\dots\dots(2-16)$$

Contoh 2 :

Fungsi keanggotaan untuk himpunan NORMAL pada variabel temperatur ruangan seperti terlihat pada Gambar 2. 7.

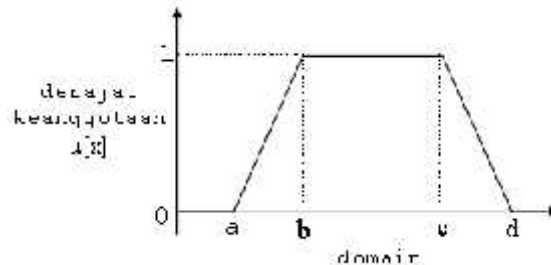
$$\begin{aligned} \mu_{\text{NORMAL}}[23] &= (23-15)/(25-15) \\ &= 8/10 = 0,8 \end{aligned}$$



Gambar 2.7 Himpunan *Fuzzy* Kurva Segitiga : NORMAL

3. Representasi Kurva Trapesium

Kurva Segitiga pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 (Gambar 2.8).



Gambar 2.8 Representasi Kurva Trapesium

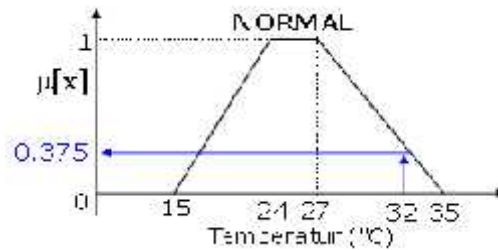
Fungsi Keanggotaan Representasi Kurva Trapesium :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x < a \text{ atau } x > d \\ (x - a)/(b - a); & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ (d - x)/(d - c); & x \geq d \end{cases} \dots\dots\dots(2-17)$$

Contoh 3:

Fungsi keanggotaan untuk himpunan NORMAL pada variabel temperatur ruangan seperti terlihat pada Gambar 2.9.

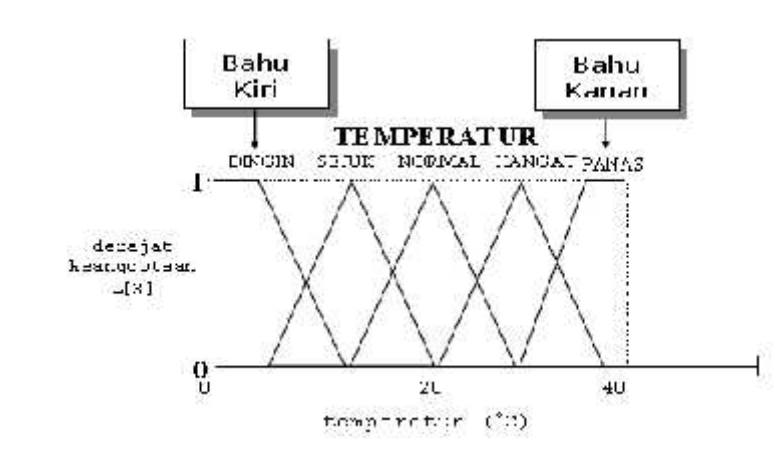
$$\begin{aligned}\mu_{\text{NORMAL}}[23] &= (35-32)/(35-27) \\ &= 3/8 = 0,375\end{aligned}$$



Gambar 2.9 Himpunan *Fuzzy* Kurva Trapesium : NORMAL

4. Representasi Kurva Bentuk Bahu

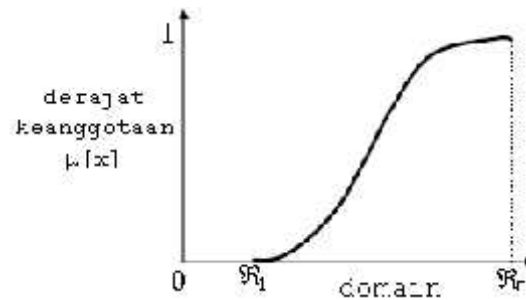
Daerah yang terletak di tengah-tengah suatu variable yang direpresentasikan dalam bentuk segitiga, pada sisi kanan dan kirinya akan naik dan turun (misalkan: DINGIN bergerak ke SEJUK bergerak ke HANGAT dan bergerak ke PANAS). Tetapi terkadang salah satu sisi dari variabel tersebut tidak mengalami perubahan. Sebagai contoh, apabila telah mencapai kondisi PANAS, kenaikan temperatur akan tetap berada pada kondisi PANAS. Himpunan *fuzzy* ‘bahu’, bukan segitiga, digunakan untuk mengakhiri variabel suatu daerah *fuzzy*. Bahu kiri bergerak dari benar ke salah, demikian juga bahu kanan bergerak dari salah ke benar. Gambar 2.10 menunjukkan variable TEMPERATUR dengan daerah bahunya.



Gambar 2.10 Daerah ‘Bahu’ Pada Variabel TEMPERATUR

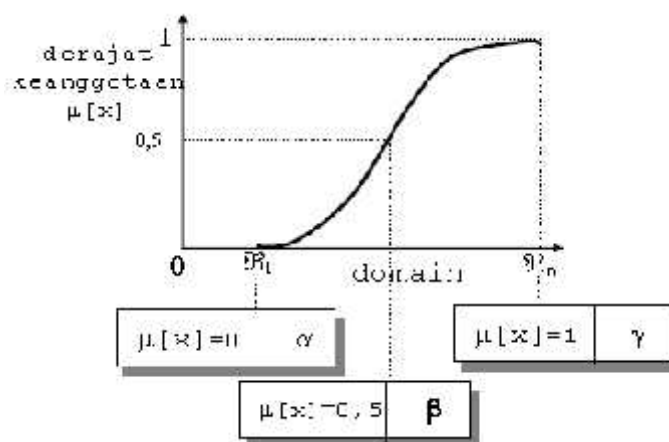
5. Representasi Kurva-S

Kurva PERTUMBUHAN dan PENYUSUTAN merupakan kurva-S atau sigmoid yang berhubungan dengan kenaikan dan penurunan permukaan secara tak linear. Kurva-S untuk PERTUMBUHAN akan bergerak dari sisi paling kiri (nilai keanggotaan = 0) ke sisi paling kanan (nilai keanggotaan = 1). Fungsi keanggotaannya akan tertumpu pada 50% nilai keanggotaannya yang sering disebut dengan titik infleksi (Gambar 2.11).



Gambar 2.11 Himpunan *Fuzzy* Kurva-S: PERTUMBUHAN

Kurva-S didefinisikan dengan menggunakan 3 parameter, yaitu: nilai keanggotaan nol (α), nilai keanggotaan lengkap (γ), dan titik infleksi atau crossover (β) yaitu titik yang memiliki domain 50% benar. Gambar 7.16 menunjukkan karakteristik kurva-S dalam bentuk skema.



Gambar 2.12 Karakteristik Fungsi Kurva-S

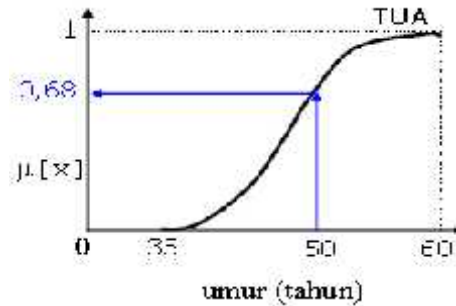
Fungsi Keanggotaan Representasi Kurva-S

$$\mu(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 & \rightarrow x < \alpha \\ \frac{2(x-\alpha)/(x-\alpha)^2}{2(x-\alpha)/(x-\alpha)^2 + 2(\gamma-x)/(\gamma-x)^2} & \rightarrow \alpha \leq x \leq \beta \\ \frac{2(\gamma-x)/(\gamma-x)^2}{2(x-\alpha)/(x-\alpha)^2 + 2(\gamma-x)/(\gamma-x)^2} & \rightarrow \beta < x < \gamma \\ 0 & \rightarrow x \geq \gamma \end{cases} \dots\dots\dots(2-18)$$

Contoh 5:

Fungsi keanggotaan untuk himpunan TUA pada variabel umur seperti terlihat pada Gambar 2.13

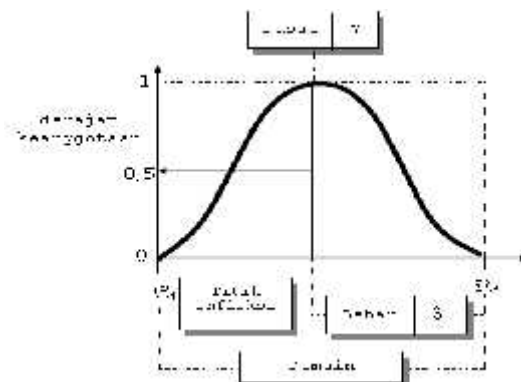
$$\begin{aligned} \mu_{TUA}[50] &= 1 - 2((60-50)/(60-35))^2 \\ &= 1 - 2(10/25)^2 \\ &= 0,68 \end{aligned}$$



Gambar 2.13 Himpunan *Fuzzy* Kurva-S: TUA

6. Representasi Kurva Bentuk Lonceng (*Bell Curve*)

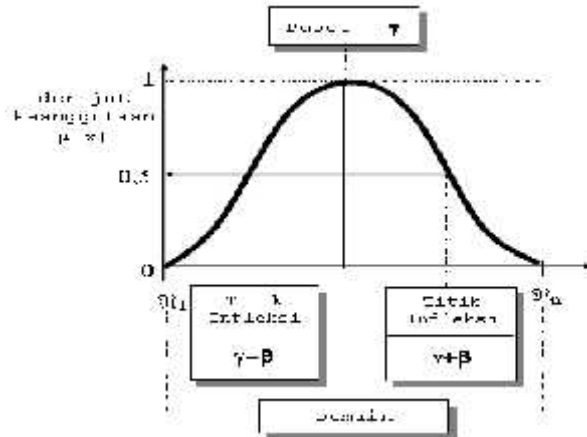
Untuk merepresentasikan bilangan *fuzzy*, biasanya digunakan kurva berbentuk lonceng. Kurva berbentuk lonceng ini terbagi atas 3 kelas, yaitu: himpunan *fuzzy* PI, beta, dan Gauss. Perbedaan ketiga kurva ini terletak pada gradiennya.



Gambar 2.14 Karakteristik Fungsional Kurva PI

Fungsi Keanggotaan Kurva PI:

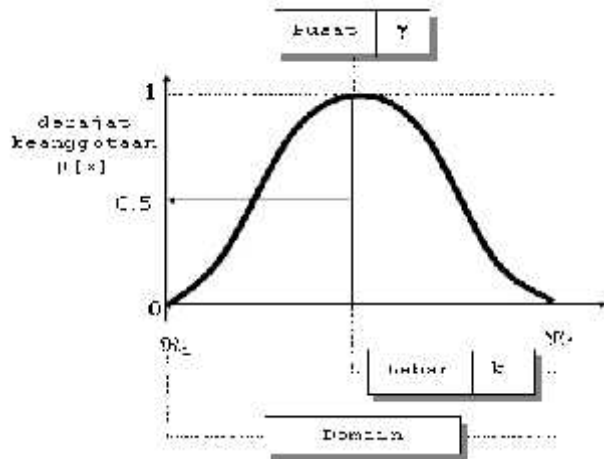
$$\Pi(x, \beta, \gamma) = \begin{cases} S(x; \gamma - \beta, \gamma - \frac{\beta}{2}, \gamma) & \rightarrow x \leq \gamma \\ 1 - S(x; \gamma, \gamma + \frac{\beta}{2}, \gamma + \beta) & \rightarrow x > \gamma \end{cases} \dots\dots\dots(2-19)$$



Gambar 2.15 Karakteristik Fungsional Kurva Beta

Fungsi Keanggotaan Kurva Beta :

$$B(x; \gamma, \beta) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - \gamma}{\beta}\right)^2} \dots\dots\dots(2-20)$$



Gambar 2.16 Karakteristik Fungsional Kurva Gauss

Fungsi Keanggotaan Kurva Gauss:

$$G(x; k, \gamma) = e^{-k(\gamma - x)^2} \dots\dots\dots(2-21)$$

2.14 Operator Dasar Untuk Himpunan Fuzzy

1. Operator AND

Operator ini berhubungan dengan operasi interseksi pada himpunan. – predikat sebagai hasil operasi dengan operator AND diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A[x], \mu_B[y]) \dots\dots\dots(2-22)$$

2. Operator OR

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

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A[x], \mu_B[y]) \dots\dots\dots(2-23)$$

Operator ini berhubungan dengan operasi komplemen pada himpunan. – predikat sebagai hasil operasi dengan operator not diperoleh dengan mengurangkan nilai keanggotaan pada himpunan yang bersangkutan dari 1.

$$\mu_{A'} = 1 - \mu_A[x]$$

2.15 Fungsi Implikasi

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

$$\text{IF } x \text{ is } A \text{ THEN } y \text{ is } B \dots\dots\dots(2-24)$$

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

$\text{IF } (x_1 \text{ is } A_1) \bullet (x_2 \text{ is } A_2) \bullet (x_3 \text{ is } A_3) \bullet \dots \bullet (x_N \text{ is } A_N) \text{ THEN } y \text{ is } B$
dengan \bullet adalah operator (misal: *OR* atau *AND*).

2.16 Sistem Inferensi *Fuzzy*

Sistem inferensi *fuzzy* merupakan kerangka komputasi yang didasarkan pada teori himpunan *fuzzy*, aturan *fuzzy* berbentuk *IF-THEN*, dan penalaran *fuzzy*. Hal-hal yang terdapat dalam sistem *fuzzy* yaitu sebagai berikut (Tampubolon, 2010):

1. Variabel *fuzzy* merupakan variabel yang dibahas dalam suatu sistem *fuzzys* seperti umur, temperatur, permintaan dan sebagainya.
2. Himpunan *fuzzy*, merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel *fuzzy*. Contoh: variabel umur, terbagi atas 3 himpunan *fuzzy*, yaitu: MUDA, PAROBAYA, TUA
3. 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 ke kanan. Nilai semesta pembicaraan dapat berupa bilangan positif maupun negatif. Adakalanya nilai semesta pembicaraan tidak dibatasi batas atasnya. Contoh: Semesta pembicaraan untuk variabel umur: $[0 \ 40]$.
4. Domain adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam himpunan *fuzzy*.

Ada beberapa model yang digunakan dalam pembuatan sistem inferensi *fuzzy* diantaranya model mamdani, sugeno dan tsukamoto. Model Mamdani sering juga dikenal dengan nama metode Max-Min. Model ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Untuk mendapatkan output, diperlukan 4 tahapan yaitu Pembentukan himpunan *fuzzy*, Aplikasi fungsi implikasi (aturan), Komposisi aturan, dan Penegasan (*defuzzy*). Pada Model Tsukamoto, 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 secara tegas (*crisp*) berdasarkan - predikat (*fire strength*).

Hasil akhirnya diperoleh dengan menggunakan rata-rata terbobot.

Sedangkan Penalaran dengan model Sugeno hampir sama dengan penalaran Mamdani, hanya saja output (konsekuen) sistem tidak berupa himpunan *fuzzy*, melainkan berupa konstanta atau persamaan linear. Model ini diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985. Dari tiga model yang ada, peneliti mencoba menggunakan model sugeno untuk pemecahan masalah penjurusan diatas.

2.17 Model Sugeno

Penalaran dengan model sugeno hampir sama dengan penalaran mamdani, hanya saja output (konsekuen) sistem tidak berupa himpunan *fuzzy*, melainkan berupa konstanta atau persamaan linear. Model ini diperkenalkan oleh Takagi- Sugeno Kang pada tahun 1985.

1. Model *Fuzzy Sugeno* Orde-Nol

Secara umum bentuk model *fuzzy* sugeno Orde-Nol adalah:

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } A_1) \bullet (x_2 \text{ is } A_2) \bullet (x_3 \text{ is } A_3) \bullet \dots \bullet (x_N \text{ is } A_N) \text{ THEN } z=k$$

dengan A_{Ni} adalah himpunan *fuzzy* ke-N sebagai anteseden, dan k adalah suatu konstanta (tegas) sebagai konsekuen.

2. Model *Fuzzy Sugeno* Orde-Satu

Secara umum bentuk model *fuzzy* sugeno Orde-Satu adalah:

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } A_1) \bullet \dots \bullet (x_N \text{ is } A_N) \text{ THEN } z = p_1 \cdot x_1 + \dots + p_N \cdot x_N + q$$

dengan A_N adalah himpunan *fuzzy* ke-N sebagai anteseden, dan p_N adalah suatu konstanta (tegas) ke-N dan q juga merupakan konstanta dalam konsekuen. Apabila komposisi aturan menggunakan model sugeno, maka defuzzifikasi dilakukan dengan cara mencari nilai rata-ratanya.

Menurut Li (dalam Tampubolon, 2010) tahapan-tahapan dalam model Sugeno yaitu sebagai berikut:

a. Pembentukan himpunan *fuzzy*

Pada tahapan ini variabel input (*crisp*) dari sistem *fuzzy* ditransfer ke dalam himpunan *fuzzy* untuk dapat digunakan dalam perhitungan nilai kebenaran dari premis pada setiap aturan dalam basis pengetahuan. Dengan demikian tahap ini mengambil nilai-nilai *crisp* dan menentukan derajat di mana nilai-nilai tersebut menjadi anggota dari setiap himpunan *fuzzy* yang sesuai.

b. Aplikasi fungsi implikasi

Tiap-tiap aturan pada basis pengetahuan *fuzzy* akan berhubungan dengan suatu relasi *fuzzy*.

d. Komposisi aturan

Apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy*, yaitu : Metode *Max (Maximum)*.

Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakan nilai tersebut untuk memodifikasi daerah *fuzzy* dan mengaplikasikannya ke *output* dengan menggunakan operato OR (gabungan). Jika semua proporsi telah dievaluasi, maka *output* akan berisi suatu himpunan *fuzzy* yang merefleksikan kontribusi dari tiap-tiap proporsi. Secara umum dapat dituliskan :

$$\mu(x_i) = \max(\mu_{sf}(x_i), \mu_{kf}(x_i)) \dots\dots\dots(2-25)$$

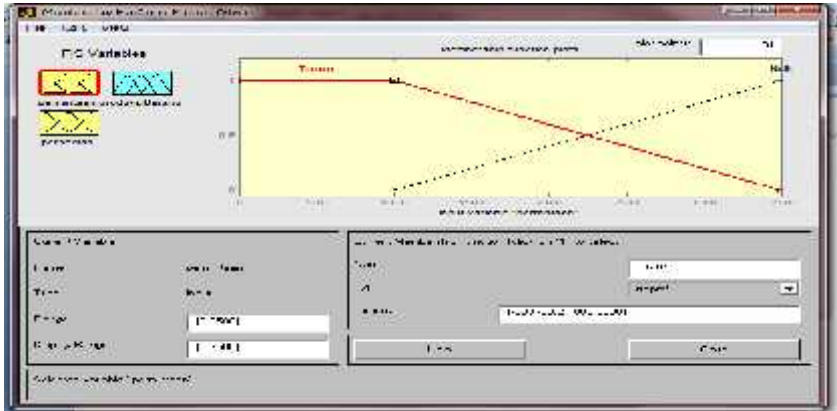
e. Penegasan

Masukan dari proses penegasan adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan *real* yang tegas. Sehingga jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam *range* tertentu, maka dapat diambil suatu nilai tegas tertentu sebagai *output*.

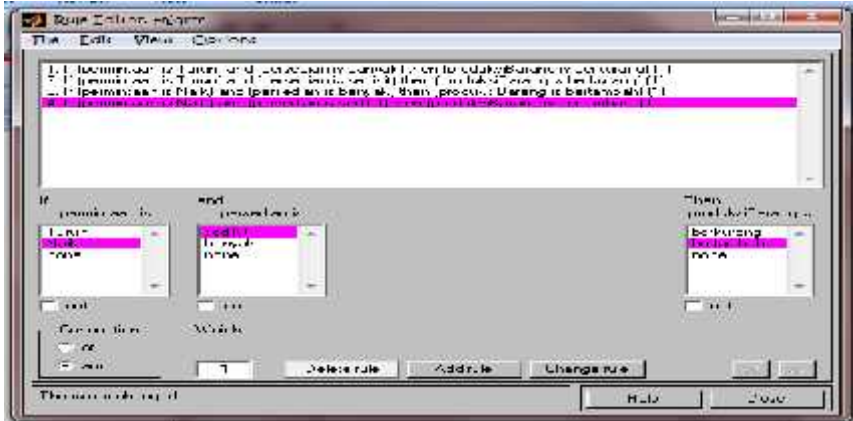
Apabila komposisi aturan menggunakan metode Sugeno maka defuzzifikasi (Z^*) dilakukan dengan cara mencari nilai rata-rata terpusatnya.

$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^n d_i U_{\tilde{A}_i}(d_i)}{\sum_{i=1}^n U_{\tilde{A}_i}(d_i)} \dots\dots\dots(2-26)$$

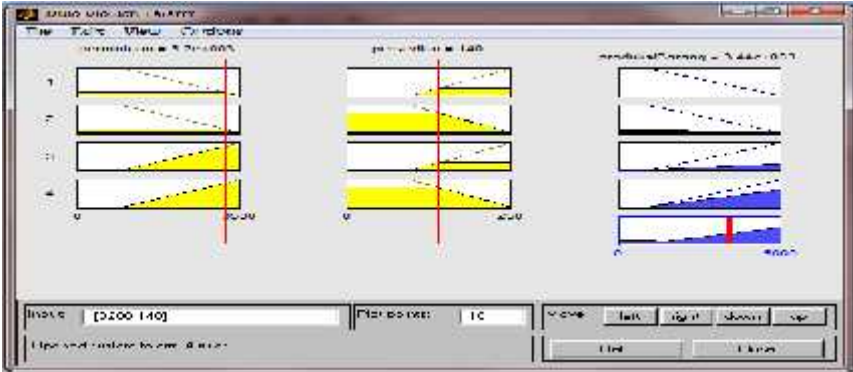
2.17.1 Gambar Tampilan *Output* Secara Umum



Gambar 2.17 Contoh Tampilan Himpunan *fuzzy* Variabel Permintaan: TURUN dan NAIK.



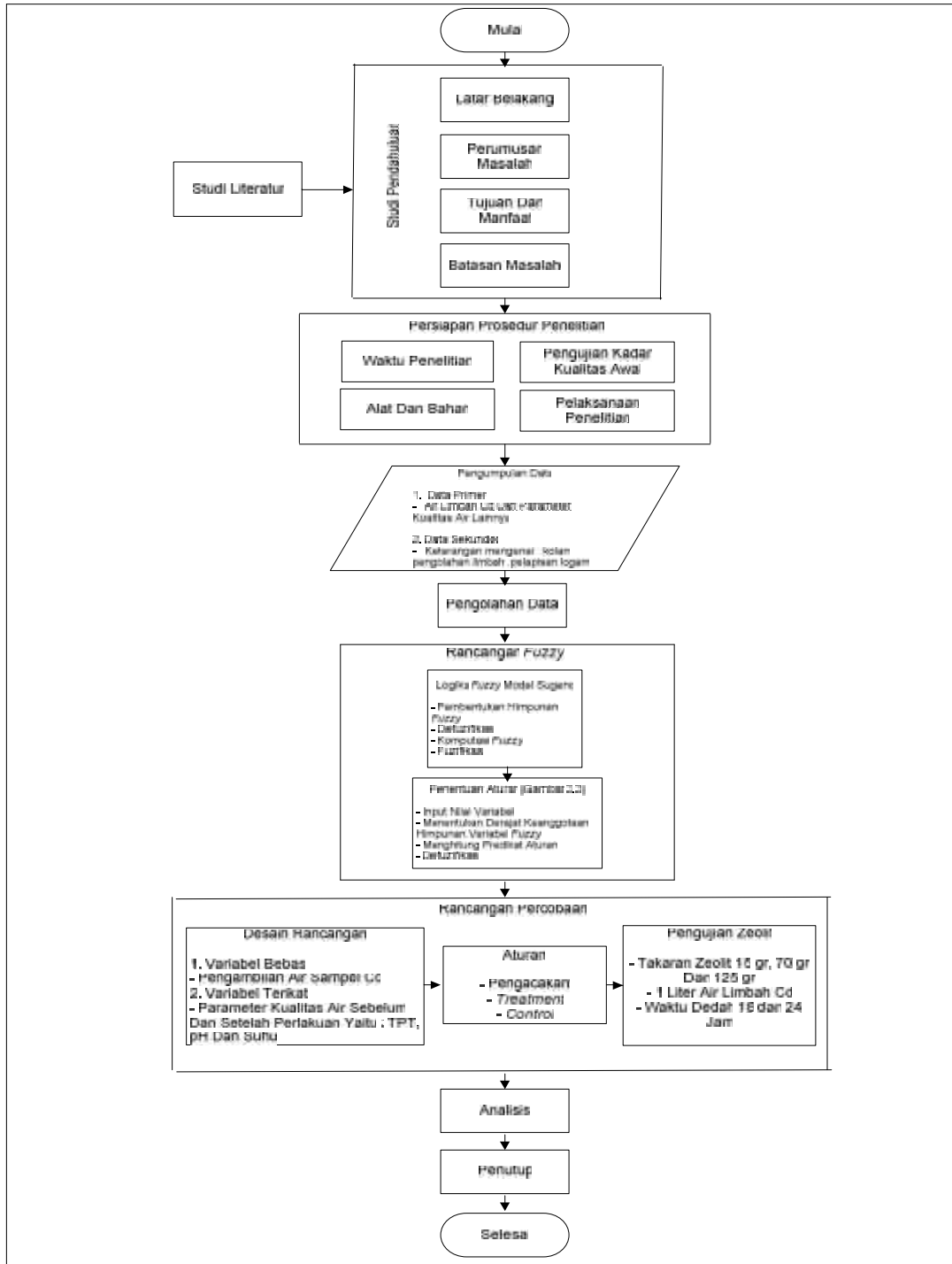
Gambar 2.18 Contoh Tampilan Aplikasi Fungsi Implikasi Aturan.



Gambar 2.18 Daerah Hasil Komposisi

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab ini menguraikan metodologi penelitian yang akan dilewati dari awal penelitian sampai akhir dari penelitian tersebut.



Gambar 3.1 Flowchart Metodologi Penelitian

3.1 Studi Pendahuluan

Tahap ini sangat perlu untuk dilakukan yaitu untuk mempermudah mendapatkan dan menemukan permasalahan, tujuan, manfaat serta batasan-batasan yang akan akan diteliti. Adapun cara-cara melakukan studi pendahuluan adalah dengan melakukan survei lapangan langsung yang dalam hal ini di Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru dengan cara mewawancarai pihak perusahaan mengenai keadaan riil lapangan dan menyesuaikannya dengan teori dan tema penelitian yang telah diperoleh.

3.2 Perumusan Masalah

Tujuan dari perumusan masalah ini untuk memperjelas tentang masalah yang akan diteliti dan dibahas dalam penelitian ini. Dari identifikasi masalah maka didapatkan suatu permasalahan yaitu bagaimana menerapkan logika *fuzzy* model sugeno dengan pendekatan desain eksperimen rancangan acak lengkap untuk mengetahui pengaruh zeolit terhadap kualitas air limbah kadmium (Cd) di Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru.

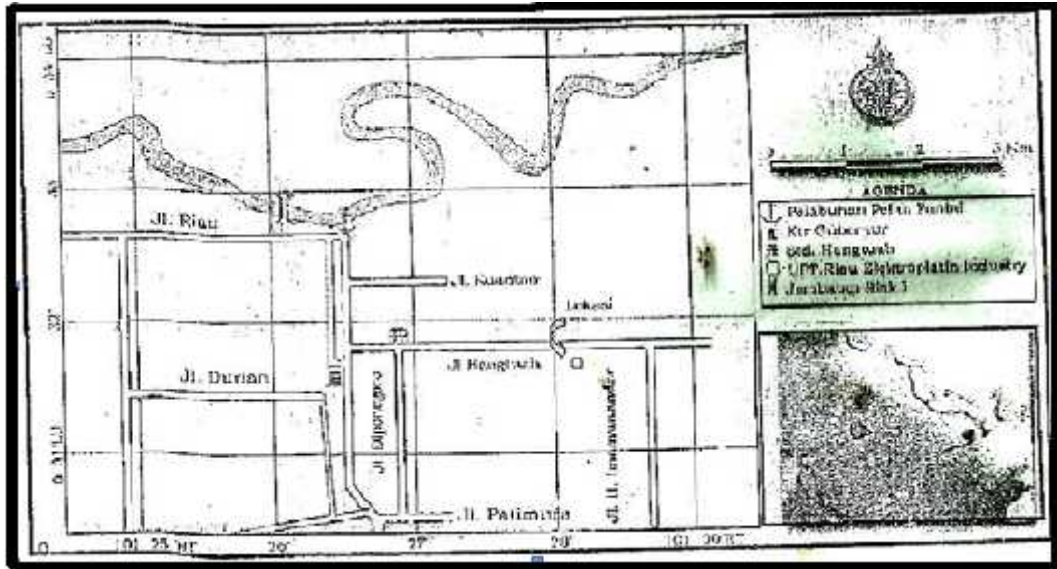
3.3 Studi Literatur

Setelah mendapatkan permasalahan yang akan diteliti, langkah selanjutnya melakukan studi literatur. Tahap ini dilakukan bertujuan untuk mendapatkan referensi-referensi atau literatur-literatur yang bisa mendukung dalam pemecahan permasalahan yang ada.

3.4 Persiapan Prosedur Penelitian

3.4.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Januari-Februari 2013 di Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri Kelurahan Rejosari Kecamatan Tenayan Raya Kota Pekanbaru Provinsi Riau. Berikut adalah denah lokasi penelitian.



Gambar 3.2 Peta Lokasi Penelitian (Sumber : UPT. Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru)

3.4.2 Bahan Dan Alat

Beberapa bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Zeolit yang telah di aktivasi yang diperoleh dari PT. Dinamika Arba Zeolit, Yogyakarta. Spesifikasi zeolit pada penelitian ini dari jenis *Mordernite*, mempunyai warna putih kehijau-hijauan, berbentuk *powder*. Dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3.1 Spesifikasi Zeolit

No	Komposisi Per 1 Kg	Persentase (%)
1	SiO ₂ (Silikon Dioksida)	62,75 %
2	Al ₂ O ₃ (Aluminium II Trioksida)	13,63 %
3	K ₂ O (Kalium II Oksida)	1,39 %
4	CaO (Kalsium Oksida)	3,42%
5	Na ₂ O (Natrium II Oksida)	1,32 %
6	MnO (Mangan Oksida)	6,7 %
7	Fe ₂ O ₃ (Besi II Trioksida)	2112%
8	MgO (Magnesium Oksida)	0,87 %

Sumber : PT. Dinamika Arba Zeolit, (2013)

2. Air limbah yang diambil sebanyak 20 liter dari kolam IV
3. Aquarium yang berukuran 10x10x30 cm
4. *Magnetic Stirrer*, Blender,
5. Ayakan ASTM *Standar Test Sive*.

Tabel 3.2 Bahan Dan Alat Pendukung

No	Parameter (satuan)	Bahan	Alat
1	Kadar Kadmium (Cd) (mg/l)	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Nucleopore</i> (0.45 µm) - HNO₃ + H₂SO₄ Pekat - Larutan Standar Cd - Larutan <i>Blanko</i> - Air Sampel 	AAS Tipe <i>Perkin Elmer</i> Model 3110
2	TPT	Kertas Saring (0.045 mikron)	<ul style="list-style-type: none"> - Penyaring - Oven - Desikator - Labu Vakum - Pompa Vakum
3	pH	Air Limbah Kadmium Dari Kolam IV	pH Meter
4	Suhu (°C)	Air Limbah Kadmium Dari Kolam IV	Termometer Hg

3.4.3 Kadar Kualitas Air Awal

Dalam penelitian ini terlebih dahulu diukur kadar kualitas air limbah kadmium yang terdapat dalam air sampel limbah pelapisan logam sebelum air limbah diberi perlakuan yakni zeolit. Pengukuran awal ini merupakan pembandingan untuk menyatakan seberapa besar pengaruh zeolit dapat mempengaruhi parameter kualitas air limbah tersebut pengujian ini dilakukan pada bulan Maret-April 2013. Kadar kualitas air limbah awal pada penelitian pendahuluan terdapat pada Tabel 1.1

3.4.4 Pelaksanaan Penelitian

Beberapa tahapan yang harus dilalui dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Alat dan bahan disiapkan terlebih dahulu di laboratorium sesuai dengan rancangan yang digunakan, khusus untuk air limbah diambil dari kolam IV pengolahan air limbah pelapisan logam Unit Pelatihan Terpadu Riau *Eletroplating* Industri Pekanbaru.
2. Penempatan masing-masing wadah uji pada posisi sesuai dengan rancangan penelitian yang telah dibuat. Penempatan wadah uji pada penelitian dilakukan secara acak dengan tujuan agar setiap bahan uji dapat menerima kondisi lingkungan yang sama.
3. Ke dalam masing-masing wadah tersebut dimasukkan air sampel limbah pelapisan logam dari kolam IV sebanyak 1 liter, dimana kadar awal kulaitas air limbah kadmium pada air sampel telah diukur terlebih dahulu.
4. Kemudian zeolit dimasukkan dalam wadah uji yang berisi sampel air limbah kadmium serta diikuti pengadukan dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 20 menit agar zeolit bercampur merata.
5. Selanjutnya didiamkan selama waktu dedah yang telah ditentukan yaitu 18 dan 24 jam.
6. Terakhir analisis kadar kualitas air limbah pada masing-masing satuan percobaan yang dilakukan sesuai dengan waktu dedah yang telah ditetapkan.

3.5 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah Metode Eksperimen. Eksperimen adalah observasi dibawah kondisi buatan (*artificial condition*), dimana kondisi tersebut dibuat dan diatur oleh si peneliti. Dengan demikian penelitian eksperimental adalah penelitian yang dilakukan dengan mengadakan manipulasi terhadap objek penelitian serta adanya kontrol. Tujuan dari penelitian eksperimental adalah untuk menyelidiki ada tidaknya hubungan sebab akibat serta berapa besar hubungan sebab akibat tersebut dengan cara memberikan perlakuan-perlakuan tertentu pada beberapa kelompok eksperimental dan menyediakan kontrol untuk perbandingan (Nazir Dalam Lahmudi, 2012)

Peneliti ini menggunakan beberapa pendekatan. Pendekatan yang dilakukan untuk mengatasi masalah ini adalah metode Logika *Fuzzy*. Selain itu terdapat pula pendekatan lain untuk proses pengujian dan implementasi yaitu desain eksperimen.

3.5.1 Metode Logika *Fuzzy*

Logika *Fuzzy* merupakan suatu logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran (*Fuzzyness*). Dalam teori logika *Fuzzy* suatu nilai bias bernilai benar atau salah, dimana berapa besar kebenaran dan kesalahan suatu tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya. Logika *Fuzzy* memiliki derajat keanggotaan dalam rentang 0 hingga 1. Hal ini berbeda dengan logika klasik (*crisp*), suatu nilai hanya mempunyai dua kemungkinan yaitu merupakan suatu anggota himpunan atau tidak (Kusumadewi, 2004).

Himpunan *Fuzzy* A pada semesta X dinyatakan sebagai himpunan pasangan berurutan baik diskrit maupun kontinu. Fungsi keanggotaan memetakan setiap pada suatu nilai antara [0,1] yang disebut derajat keanggotaan (*membership value*). Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya atau derajat keanggotaan, yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi derajat keanggotaan dalam himpunan (*degree of membership*) dilambangkan dengan μ . Beberapa fungsi yang dapat digunakan antara lain: linear, segitiga, trapesium, kurva bentuk bahu, kurva S, atau kurva lonceng (Kusumadewi, 2004).

Secara umum, hubungan antara dua variabel linguistik pada logika *Fuzzy* dapat dinyatakan dalam bentuk *Fuzzy if then rules*. Aturan yang diperoleh dari pakar merupakan dasar dalam pengembangan *knowledge base* dari *Fuzzy kontroller* atau *Fuzzy expert systems* (Kusumadewi, 2006). Operator dasar yang mendefinisikan khusus untuk mengkombinasi dan memodifikasi himpunan *Fuzzy* adalah: operator “*and*”, operator “*or*”, dan operator “*not*”

Adapun tahapan-tahapan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Defuzifikasi yaitu proses untuk mengubah variabel *non Fuzzy* (variabel numerik) menjadi variabel *Fuzzy* (variabel linguistik)
2. Komputasi secara *Fuzzy*
3. Fuzifikasi yaitu proses perubahan data-data *Fuzzy* tersebut menjadi data-data numerik.

Penelitian ini menerapkan logika *fuzzy* model Sugeno sebagai pendekatan yang digunakan untuk membantu pemecahan masalah, adapun beberapa alasan digunakannya logika *fuzzy* model Sugeno dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Kemampuan dalam proses penalaran secara bahasa
2. Dalam perancangannya, tidak memerlukan persamaan matematik dari objek yang akan dikendalikan.
3. Logika *fuzzy* model Sugeno toleran dan fleksibel terhadap data yang tidak akurat, dapat memodelkan fungsi *non linear*, dapat dibangun berdasarkan pengalaman pakar, serta dapat digabungkan dengan metode konvensional lainnya (Kusumadewi, 2004).

3.5.2 Metode Desain Eksperimen

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dikarenakan percobaan dilakukan pada media yang tidak heterogen dengan percobaan faktorial. Metode penelitian eksperimen dapat diartikan sebagai metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendalikan. Setelah itu, untuk menganalisis pengaruh penambahan zeolit akan dilakukan dengan analisis variansi adapun tahapan analisis terhadap hasil pengolahan data yang diperoleh yaitu :

1. Analisis terhadap hasil desain uji coba (*Design Experiment*)
Menentukan dan menganalisis faktor-faktor yang menyebabkan ada atau tidaknya pengaruh penambahan zeolit terhadap peningkatan parameter kualitas kualitas air limbah kadmium.
2. Analisis terhadap hasil pengujian hipotesis anova (*Analysis Of Variance*)

Analisis Menentukan dan menganalisis apakah hipotesis diterima atau ditolak dilakukan dengan membandingkan F hitung dengan F tabel.

3.6 Variabel Penelitian

Berikut ini merupakan variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variabel bebas

Waktu pengambilan air sampel limbah kadmium (Cd) pada kolam terakhir (IV), *treatment* dan *control*.

2. Variabel terikat

Parameter yang diperiksa pada limbah cair adalah parameter kualitas air masing-masing pada sampel sebelum dan setelah perlakuan/ pengolahan yaitu pH, TPT dan Suhu serta jumlah kadar zeolit.

3.7 Perlakuan Penelitian

Perlakuan penelitian dalam eksperimen ini terjadi sebanyak 3 perlakuan dengan model matematis yang digunakan dalam penelitian ini adalah model tetap menurut Sudjana, (1994) yaitu :

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij}$$

α_i = Blok (I, II) waktu dedah (18 dan 24 jam)

β_j = Perlakuan (15, 70 dan 125 gr) berat zeolit

Dimana :

Y_{ij} = Variabel respon (penurunan kadar kadmium) karena pengaruh zeolit

μ = Efek rata-rata

α_i = Efek waktu dedah

β_j = Efek berat zeolit

γ_{ij} = Efek percobaan karena waktu ke-I dan perlakuan ke-j

Perlakuan terhadap penambahan zeolit yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Penambahan zeolit 15 gr ke dalam 1 liter limbah Cd dengan lama pengadukan 20 menit dan waktu dedah 18 dan 24 jam.
2. Penambahan zeolit 70 gr ke dalam 1 liter limbah Cd dengan lama pengadukan 20 menit dan waktu dedah 18 dan 24 jam.
3. Penambahan zeolit 125 gr ke dalam 1 liter limbah Cd dengan lama pengadukan 20 menit dan waktu dedah 18 dan 24 jam.

Penentuan penambahan zeolit pada masing percobaan dilakukan dengan penelitian sederhana yaitu melakukan percobaan pada setiap jumlah zeolit yang mungkin memberikan pengaruh terhadap kualitas air limbah kadmium (Cd) dengan menggunakan metode logika *fuzzy* sugeno dengan bantuan *software* MATLAB R2009a, Hasil pengujian kemudian akan digunakan pada percobaan inti yang juga menggunakan pendekatan metode rancangan acak lengkap (lampiran H) hasil ini juga akan digunakan sebagai inputan dalam proses penentuan jumlah zeolit yang tepat yaitu unsur terkait parameter kualitas air yaitu Suhu, Total Padatan Tersuspensi (TPT) dan pH (Derajat Keasaman). Jumlah zeolit sebanyak 15 gr, 70 gr dan 125 gr dan sampel air limbah kadmium. Kemudian nilai variabel-variabel tersebut dimasukkan ke dalam himpunan *fuzzy* dengan atribut linguistiknya masing-masing.

3.8 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Adapun data primer adalah kadmium (Cd) dan parameter kualitas air yaitu TPT, pH dan Suhu. Sedangkan data sekunder yaitu keterangan mengenai kolam pengolahan limbah cair dan industri pelapisan logam.

3.9 Pengolahan Data

Setelah peneliti menyajikan beberapa langkah di atas, selanjutnya peneliti secara khusus akan menjelaskan perihal pengolahan data. Pengolahan data berkaitan dengan percobaan yang telah dilakukan.

3.9.1 Rancangan *Fuzzy*

Langkah-langkah yang dilakukan dalam tahapan ini adalah:

1. Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* yang dibuat untuk tiap-tiap variabel input terlihat pada Tabel 3.3. fungsi derajat keanggotaan yang digunakan pada tiap variabel *fuzzy* ditentukan berdasarkan keadaan di Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru dengan melakukan wawancara dengan kepala bagian laboratorium.

Tabel 3.3 Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

Variabel		Himpunan Input <i>Fuzzy</i>	
Nama	Notasi	Nama	Notasi
TPT	A	Baik	x
		Buruk	y
PH	B	Baik	x
		Buruk	y
SUHU	C	Baik	x
		Buruk	y

2. Pembentukan Aturan (*Rules*)

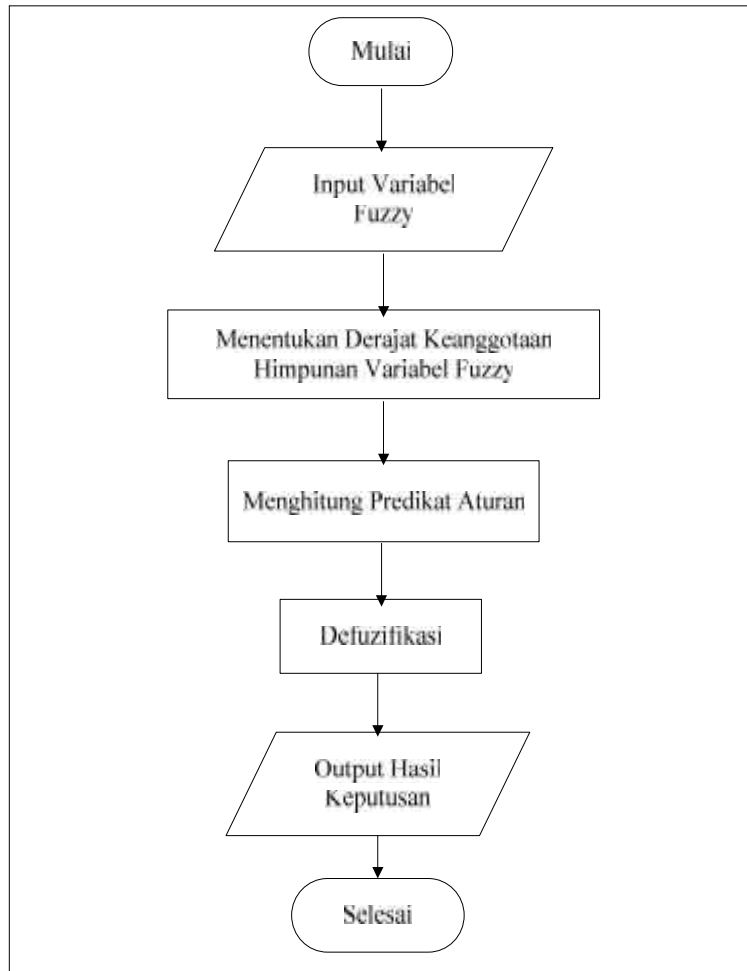
Rules berupa pernyataan-pernyataan yang ditulis dalam bentuk *if-then*, aturan-aturan penentuan jumlah zeolit ini peroleh dari hasil wawancara. Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah model Sugeno, berikut adalah aturan dan *flowchart* model Sugeno :

a) Input nilai variabel

Data variabel yang diperlukan sebagai inputan dalam proses penentuan jumlah zeolit yang tepat adalah unsur terkait parameter kualitas air yaitu Suhu, Total Padatan Tersuspensi (TPT) dan pH (Derajat Keasaman). Jumlah zeolit sebanyak 15 gr, 70 gr dan 125 gr dan sampel air limbah kadmium dari kolam IV yang telah ditentukan sebelumnya. Kemudian nilai variabel-variabel tersebut dimasukkan ke dalam himpunan *fuzzy* dengan atribut linguistiknya masing-masing.

- b) Menentukan derajat keanggotaan himpunan variabel *fuzzy*
 Setiap variabel dalam himpunan *fuzzy* ditentukan derajat keanggotaannya untuk setiap atribut linguistiknya. Dimana derajat keanggotaan tersebut menjadi nilai dalam himpunan *fuzzy*.
- c) Menghitung predikat aturan
 Variabel-variabel yang telah dimasukkan dalam himpunan *fuzzy*, dibentuk aturan-aturan yang diperoleh dengan mengkombinasikan setiap variabel dengan variabel yang satu dengan atribut linguistiknya masing-masing. Aturan-aturan yang telah diperoleh akan dihitung nilai predikat aturannya dengan proses implikasi. Dalam model Sugeno proses implikasi dilakukan dengan operasi Min. Predikat aturan tersebut diperoleh dengan mengambil nilai minimum dari derajat keanggotaan variabel yang satu dengan variabel yang lain, yang telah dikombinasikan dalam aturan yang telah ditentukan sebelumnya.
- d) Defuzifikasi
 Setelah menghitung semua predikat aturan yang telah ditentukan, nilai defuzifikasi dapat ditentukan. Pada model Sugeno nilai defuzifikasi diperoleh dengan perhitungan *Weight Average* (WA) :

$$WA = \frac{\alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2 + \alpha_3 z_3 + \dots + \alpha_n z_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_n} \dots\dots\dots (3-1)$$



Gambar 3.3 *Flowchart* Model Sugeno (Lahmudi, 2012)

3.9.2 Rancangan Percobaan

Pengolahan data dilakukan dengan metode rancangan acak lengkap maka selanjutnya data yang diperoleh dari penelitian ini disajikan dalam bentuk tabel dan dilakukan uji statistik. Pada tahap ini akan dilakukan pembuktian jumlah zeolit yang telah dihasilkan dari rancangan *fuzzy* tersebut, hal ini juga bertujuan untuk melakukan pengujian dan implementasi dari tahapan-tahapan yang telah dilakukan sebelumnya. Pengujian data dengan menggunakan ANOVA (*Analysis of Variances*) yaitu ANOVA yang bertujuan untuk melihat pengaruh zeolit dengan tingkat $\alpha : 95\%$. Tujuan dari pengolahan data adalah untuk memudahkan peneliti dalam pengambilan keputusan atau solusi yang akan diberikan terhadap masalah yang diteliti.

3.10 Analisis Data

Menguraikan dan menganalisa secara keseluruhan semua yang telah dihasilkan dan telah diolah pada Bab IV tentang pengaruh zeolit terhadap kualitas air limbah (Cd) selanjutnya dianalisis secara deskriptif dan statistik.

Menentukan apakah hipotesis diterima atau ditolak dilakukan dengan membandingkan F_{hitung} dengan F_{tabel} , dengan ketentuan sebagai berikut :

- Apabila $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka hipotesis (H_0) diterima dan H_a ditolak.
- Apabila $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka hipotesis (H_0) ditolak dan H_a diterima

Analisa data ini dilakukan untuk pengujian hipotesis dengan menggunakan distribusi F. Distribusi probabilitas ini di gunakan sebagai uji statistik di berbagai situasi. Distribusi F digunakan untuk menguji apakah dua buah sampel berasal dari populasi yang variansi yang sama. Selain itu, distribusi F juga digunakan bila kita ingin membandingkan dua atau lebih rata-rata populasi secara simultan. Perbandingan simultan terhadap beberapa rata-rata populasi dinamakan analisis variansi (Koster. W, 2003)

3.11 Penutup

Menguraikan secara singkat mengenai kesimpulan dan saran dari penelitian dan penulisan tugas akhir.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Terdapat dua hal yang mempengaruhi kualitas data hasil penelitian, yaitu, kualitas instrumen penelitian, dan kualitas pengumpulan data. Kualitas instrumen penelitian berkenaan dengan validitas dan reliabilitas instrumen dan kualitas pengumpulan data berkenaan dengan ketepatan cara-cara yang digunakan untuk mengumpulkan data. Oleh karena itu instrumen telah teruji validitas dan reliabilitasnya, belum tentu dapat menghasilkan data yang valid dan reliabel, apabila instrumen tersebut tidak digunakan secara tepat dalam pengumpulan datanya (Sugiyono, 2011).

Pengumpulan data dapat dilakukan dalam berbagai *setting*, berbagai sumber, dan berbagai cara. Bila dilihat dari *setting*-nya, data dapat dikumpulkan pada *setting* alamiah (*natural setting*), pada laboratorium dengan metode eksperimen, dirumah dengan berbagai responden, pada suatu seminar, diskusi, di jalan dan lain-lain (Sugiyono, 2011).

Bila dilihat dari sumber datanya, maka pengumpulan data dapat menggunakan sumber primer dan sumber sekunder. Sumber primer adalah sumber sumber data yang langsung memberikan data kepada pengumpul data, dan sumber sekunder merupakan sumber yang tidak langsung memberikan data kepada pengumpul data, misalnya lewat orang lain atau lewat dokumen (Sugiyono, 2011).

Pada bab ini akan dilakukan pengumpulan dan pengolahan data untuk pendukung dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Adapun data yang telah didapat adalah :

4.1.1 Pengumpulan Data Penelitian Awal

4.1.1.1 Pengumpulan Data Penelitian Awal Total Padatan Tersuspensi (TPT)

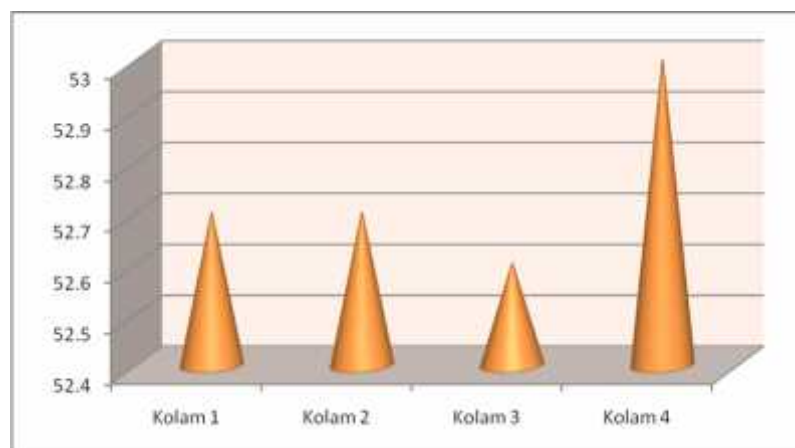
Berdasarkan data pengujian kadar awal TPT pada masing masing kolam menunjukkan bahwa rentang nilai berada pada 52.7 mg/l - 53 mg/l dari kadar yang telah ditetapkan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: KEP-

51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri pelapisan logam dengan nilai toleransi yang boleh dibuang ke lingkungan adalah sebesar 20 mg/l.

Tabel 4.1 Pengumpulan Data Penelitian Awal Total Padatan Tersuspensi (TPT)

Parameter	Kadar	Satuan	Hasil Pengujian			
			Kolam 1	Kolam 2	Kolam 3	Kolam 4
TPT	20	mg/l	52.7	52.7	52.6	53

Kadar tertinggi berada pada kolam keempat yaitu sebesar 53 mg/l, kolam pertama dan kedua bernilai sama yaitu sebesar 52.7 mg/l dan nilai kadar terkecil terdapat pada kolam ketiga sebesar 52.6 mg/l. Untuk lebih jelas berikut ini data akan disajikan dalam bentuk grafik



Gambar 4.1 Grafik Data Penelitian Awal Total Padatan Tersuspensi (TPT)

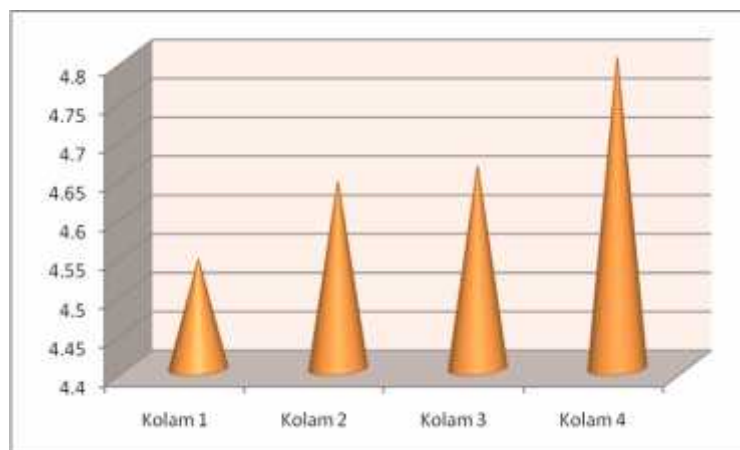
4.1.1.2 Pengumpulan Data Penelitian Awal Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman atau biasa disebut dengan pH merupakan salah satu faktor yang dibutuhkan untuk mengukur tingkat kualitas air limbah kadmium, dari penelitian pengujian awal nilai kadar limbah berada pada rentang 4.54 g/l – 4.8 gr/l.

Tabel 4.2 Pengumpulan Data Penelitian Awal Derajat Keasaman (pH)

Parameter	Kadar	Satuan	Hasil Pengujian			
			Kolam 1	Kolam 2	Kolam 3	Kolam 4
pH	6.0 – 9.0	gr/l	4.54	4.64	4.66	4.8

Dari Tabel 4.2 di atas dapat di lihat bahwa nilai kadar tertinggi terdapat pada kolam empat yaitu sebesar 4.8 gr/l dan kadar nilai terendah terdapat pada kolam pertama yaitu sebesar 4.54 gr/l. sedangkan untuk kolam dua dan kolam tiga bernilai 4.64 gr/l dan 4.66 gr/l. Berikut ini data yang disajikan dalam bentuk grafik :



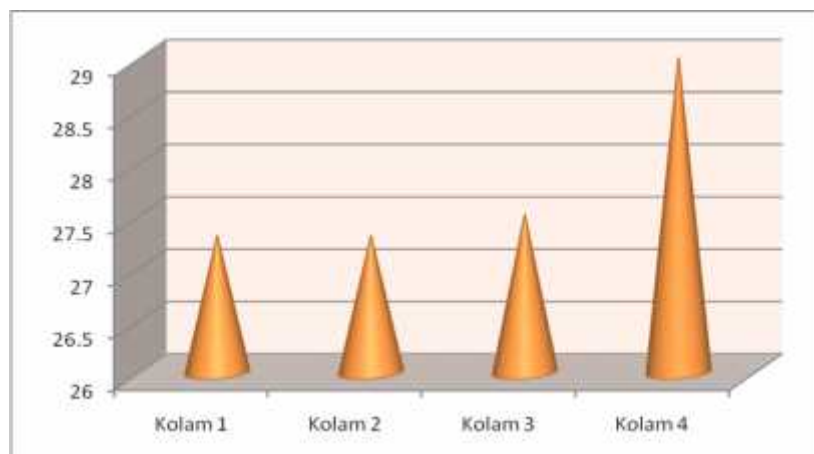
Gambar 4.2 Grafik Data Penelitian Awal pH

4.1.1.3 Pengumpulan Data Penelitian Awal Suhu

Suhu menyatakan besaran fisika yang menyatakan banyaknya panas yang terkandung dalam suatu benda semakin tinggi suhu akan menyebabkan toksisitas daya racun zat pencemar semakin tinggi, dalam hal ini menunjukkan nilai kadar penelitian pengujian awal suhu yaitu berada pada rentang $27.3^{\circ}\text{C} - 29^{\circ}\text{C}$, nilai kadar tertinggi berada pada kolam keempat yaitu sebesar 29°C , kolam pertama dan kedua bernilai sama yaitu sebesar 27.3°C yang merupakan kadar terendah dan kolam ketiga bernilai 27.5°C . Berikut ini penyajian data dalam bentuk tabel dan grafik :

Tabel 4.3 Pengumpulan Data Penelitian Awal Suhu

Parameter	Kadar	Satuan	Hasil Pengujian			
			Kolam 1	Kolam 2	Kolam 3	Kolam 4
pH	$27^{\circ}-32^{\circ}$	$^{\circ}\text{C}$	27.3	27.3	27.5	29



Gambar 4.3 Grafik Data Penelitian Awal Suhu

Untuk lebih jelas berikut adalah data hasil rekapitulasi penelitian pengujian awal dari masing-masing kolam :

Tabel 4.4 Rekapitulasi Penelitian Pengujian Awal

Parameter	Kadar	Satuan	Hasil Pengujian			
			Kolam 1	Kolam 2	Kolam 3	Kolam 4
TPT	20	mg/l	52.7	52.7	52.6	53
pH	6.0 – 9.0	gr/l	4.54	4.64	4.66	4.8
Suhu	27 ⁰ -32 ⁰	°C	27.3	27.3	27.5	29

4.2 Pengumpulan Data Penelitian Inti

4.2.1 Data Hasil Percobaan Inti Dengan Parameter TPT

Total Padatan Tersuspensi merupakan parameter yang pertama kali akan diukur dalam penelitian Tugas Akhir ini adapun data hasil percobaan sebagai berikut :

Tabel 4.5 Hasil Percobaan TPT

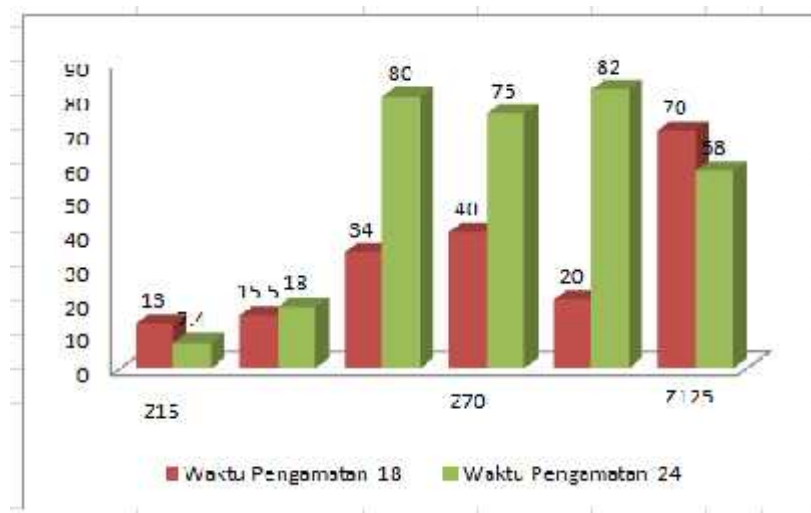
Parameter	Kadar	Waktu Pengamatan	Perlakuan (gr)					
			Z15		Z70		Z125	
TPT	20 mg/l	18	13	15.5	34	40	20	70
		24	7.4	18	80	75	82	58

Berdasarkan hasil penelitian inti untuk parameter kualitas air limbah kadmium (Cd) dapat dilihat bahwa pada penambahan zeolit sebanyak 15 gram (Z15) menghasilkan sebanyak 4 buah data pengukuran. Dimana secara keseluruhan berada pada rentang 13 mg/l – 18 mg/l. Dengan nilai sebesar 13 mg/l dan 15.5 mg/l untuk waktu dedah 18 jam dan sebesar 7.4 mg/l dan 18 mg/l untuk waktu dedah 24 jam.

Sedangkan untuk penambahan zeolit sebanyak 70 gram (Z70) hasil penelitian berada pada rentang 34 mg/l – 80 mg/l. Dimana nilai sebesar 34 mg/l dan 40 mg/l didapat dari waktu dedah 18 jam sedangkan waktu dedah 24 jam menghasilkan nilai pengukuran sebesar 80 mg/l dan 75 mg/l.

Hal yang sama juga terjadi pada penambahan zeolit sebanyak 125 gram (Z125), hasil penelitian berada pada rentang nilai 20 mg/l – 82 mg/l, dimana nilai 20 mg/l dan 70 mg/l dihasilkan dari waktu dedah selama 18 jam dan 82 mg/l dan 58 mg/l dihasilkan dari waktu dedah 24 jam.

Untuk melihat tingkat fluktuasi dari hasil percobaan, berikut data disajikan dalam bentuk grafik :



Gambar 4.4 Grafik Fluktuasi Hasil Percobaan TPT

4.2.2 Data Hasil Percobaan Inti Dengan Parameter pH

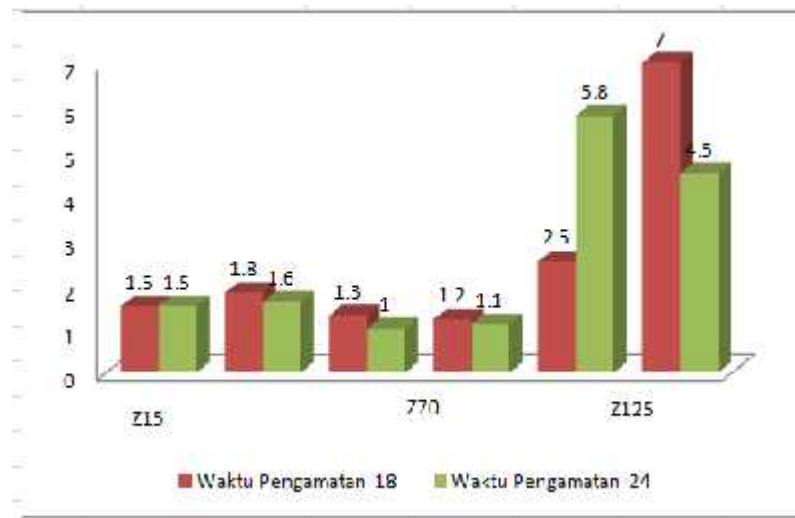
Dari hasil data percobaan dapat dilihat bahwa secara keseluruhan data berada pada rentang 1g/l – 7 g/l. Dimana 1.5 g/l dan 1.8 g/l dengan waktu dedah 18 jam dan 1.5 g/l dan 1.6 g/l untuk waktu dedah 24 jam ini didapat dari

penambahan zeolit sebanyak 15 gram (Z15), sedangkan untuk penambahan sebanyak 70 gram (Z70) menghasilkan data sebesar 1.3 g/l dan 1.2 g/l untuk waktu dedah 18 jam sedangkan untuk waktu dedah 24 jam menghasilkan sebesar 1 g/l dan 1.1 g/l

Tabel 4.6 Hasil Percobaan pH

Parameter	Kadar	Waktu Pengamatan	Perlakuan (gr)					
			Z15		Z70		Z125	
pH	6.0 g/l – 9.0 g/l	18	1.5	1.8	1.3	1.2	2.5	7
		24	1.5	1.6	1	1.1	5.8	4.5

Selain itu, untuk penambahan zeolit sebanyak 125 gram (Z125) menghasilkan data pengukuran sebesar 2.5 g/l dan 7 g/l untuk waktu dedah 18 jam serta 5.8 g/l dan 4.5 g/l untuk waktu dedah 24 jam . Untuk lebih jelas melihat tingkat fluktuasi dari hasil percobaan, berikut data disajikan dalam bentuk grafik :



Gambar 4.5 Grafik Fluktuasi Hasil Percobaan pH

4.2.3 Data Hasil Percobaan Inti Dengan Parameter Suhu

Untuk penambahan zeolit sebanyak 15 gram (Z15) menghasilkan data pengukuran sebesar 13.8⁰C dan 27.2⁰C untuk waktu dedah 18 jam serta 16⁰C dan 29.8⁰C untuk waktu dedah 24 jam.

Tabel 4.7 Hasil Percobaan Suhu

Parameter	Kadar	Waktu Pengamatan	Perlakuan (gr)					
			Z15		Z70		Z125	
Suhu (C)	25 ⁰ C-32 ⁰ C	18	13.8	27.2	27.3	27.3	27.5	27.3
		24	16	29.8	29.8	29.9	29.9	29.9

Sedangkan untuk penambahan zeolit sebanyak 70 gram (Z70) hasil penelitian berada pada nilai 27.3⁰C – 27.3⁰C untuk waktu dedah 18 jam dan nilai sebesar 29.8⁰C dan 29.9⁰C didapat dari waktu dedah 24 jam. Pada penambahan zeolit sebanyak 125 gram (Z125), hasil penelitian berada pada rentang nilai 27.3⁰C – 29.9⁰C, dimana nilai 27.5⁰C dan 27.3⁰C dihasilkan dari waktu dedah selama 18 jam dan 29.9⁰C dan 29.9⁰C dihasilkan dari waktu dedah 24 jam.

Pada Gambar 4.3 data hasil percobaan merupakan grafik fluktuasi untuk hasil percobaan suhu.



Gambar 4.6 Grafik Fluktuasi Hasil Percobaan Suhu

Untuk lebih jelas berikut adalah data hasil rekapitulasi percobaan dari masing-masing penambahan zeolit :

Tabel 4.8 Rekapitulasi Data Hasil Percobaan Inti

Parameter	Kadar	Waktu Pengamatan	Perlakuan (gr)					
			Z15		Z70		Z125	
TPT	20 mg/l	18	13	15.5	34	40	20	70
		24	7.4	18	80	75	82	58
pH	6.0 g/l – 9.0 g/l	18	1.5	1.8	1.3	1.2	2.5	7
		24	1.5	1.6	1	1.1	5.8	4.5
Suhu (C)	25 ⁰ C-32 ⁰ C	18	13.8	27.2	27.3	27.3	27.5	27.3
		24	16	29.8	29.8	29.9	29.9	29.9

Sumber : UPT. Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru, (2013)

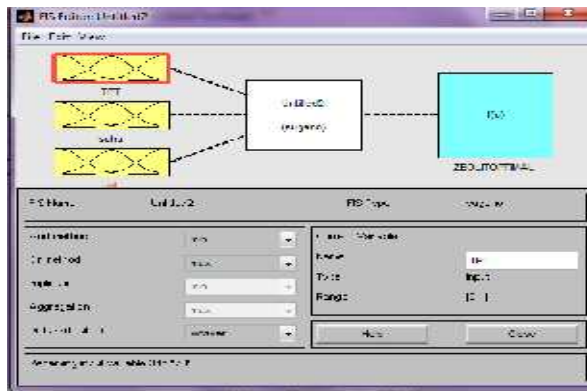
4.3 Pengolahan Data

4.3.1 Pengolahan Data Dengan Metode Logika Fuzzy Sugeno

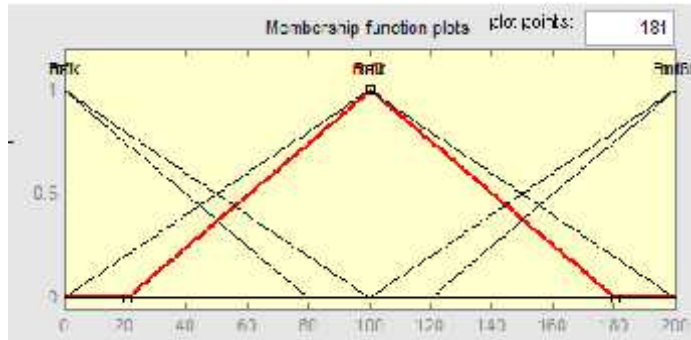
Pengolahan data dilakukan dengan menentukan variabel dan semesta pembicaraan, dilanjutkan dengan membentuk himpunan *fuzzy*. Penentuan variabel dan semesta pembicaraan dari hasil pengambilan data dapat diperoleh pada Tabel 4.4. Langkah selanjutnya adalah membuat fungsi keanggotaan untuk tiap variabel TPT, pH dan Suhu. Fungsi keanggotaan variabel, meliputi kurva bentuk segitiga dan linear.

4.3.1.1 Pengolahan Data TPT

Pegolahan data dilakukan dengan melakukan proses *input* data dengan parameter [0-200] dan [0-1] untuk derajat keanggotaan dengan *output* zeolit optimal.



Gambar 4.7 Input Data Logika Fuzzy TPT



Gambar 4.8 Tampilan Hasil Pengolahan Data *Fuzzy* TPT

Berdasarkan hasil pengolahan data pada Gambar 4.8 maka dapat dilihat dan disajikan perhitungan sebagai berikut :

Dengan fungsi keanggotaannya adalah :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x - a)/(b - a); & a \leq x \leq b \\ (b - x)/(c - b); & b \leq x \leq c \end{cases}$$

Dimana :

$$x < 20 \text{ atau } x > 180,$$

$$20 \leq x \leq 100$$

$$100 \leq x \leq 180$$

Sehingga :

$$\mu_{\text{Baik}}[80] = (80-20)/(100-20)$$

$$= 60/80$$

$$= 0.75$$

$$\mu_{\text{Baik}}[60] = (60-20)/(100-20)$$

$$= 40/80$$

$$= 0.5$$

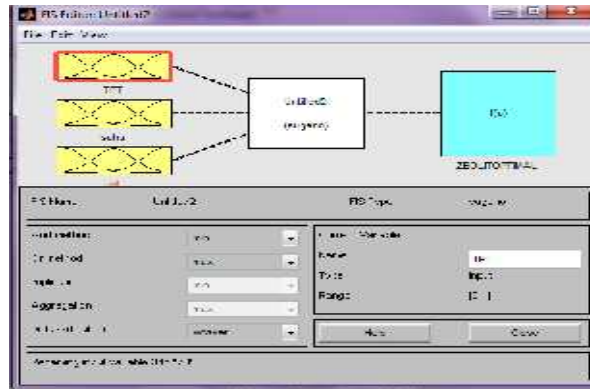
$$\mu_{\text{Baik}}[40] = (40-20)/(100-20)$$

$$= 20/80$$

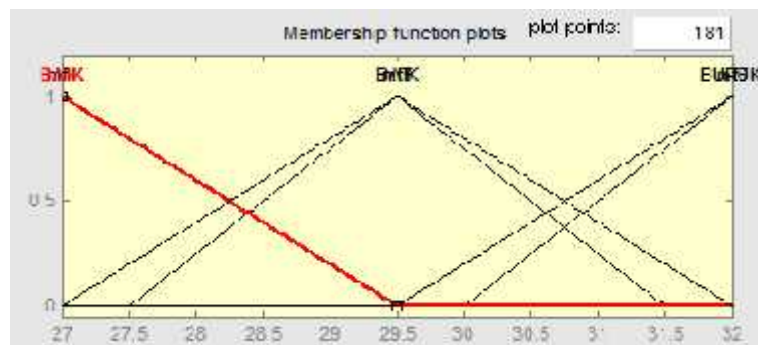
$$= 0.25$$

4.3.1.2 Pengolahan Data Suhu

Pegolahan data dilakukan dengan melakukan proses *input* data dengan parameter [27-32] dan [0-1] untuk derajat keanggotaan *output* zeolit optimal.



Gambar 4.9 Input Data Logika Fuzzy Suhu



Gambar 4.10 Tampilan Hasil Pengolahan Data Fuzzy Suhu

Berdasarkan hasil pengolahan data pada Gambar 4.10 maka dapat dilihat dan disajikan perhitungan sebagai berikut :

Dengan fungsi keanggotaan :

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

Dimana :

$$\begin{aligned} & x = 27 \\ 27 & x 29.5 \\ & x 29.5 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \mu_{\text{Baik}}[29] &= (29-27)/(29.5-27) \\ &= 2/2.5 \\ &= 0.8 \end{aligned}$$

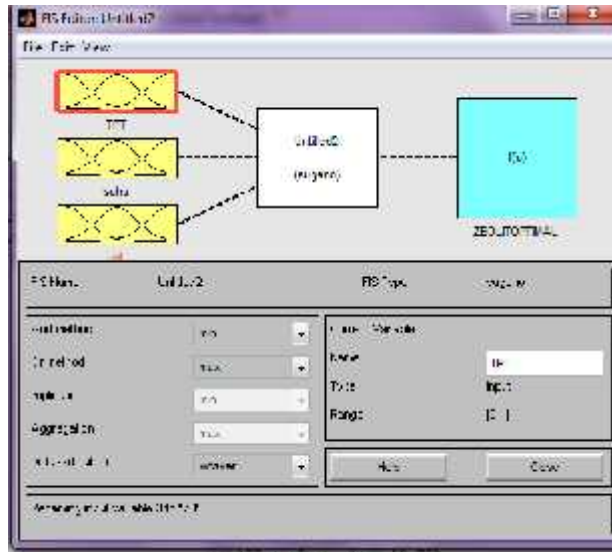
$$\begin{aligned} \mu_{\text{Baik}}[28.5] &= (28.5-27)/(29.5-27) \\ &= 1.5 / 2.5 \\ &= 0.6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{Baik}}[28] &= (28-27)/(29.5-27) \\ &= 1/ 2.5 \\ &= 0.4 \end{aligned}$$

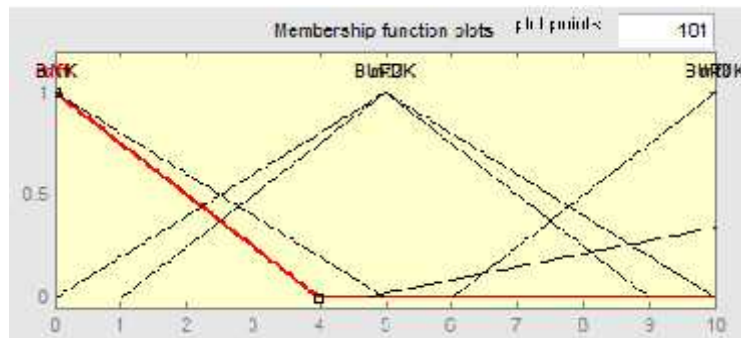
$$\begin{aligned} \mu_{\text{Baik}}[27.5] &= (27.5-27)/(29.5-27) \\ &= 0.5/ 2.5 \\ &= 0.2 \end{aligned}$$

4.3.1.3 Pengolahan Data pH

Pegolahan data dilakukan dengan melakukan proses *input* data dengan parameter [0-10] dan [0-1] untuk derajat keanggotaan dengan *output* zeolit optimal



Gambar 4.11 Input Data Logika Fuzzy pH



Gambar 4.12 Tampilan Hasil Pengolahan Data Fuzzy pH

Berdasarkan hasil pengolahan data pada Gambar 4.12 maka dapat dilihat dan disajikan perhitungan sebagai berikut :

Dengan fungsi keanggotaan :

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

Dimana :

$$\begin{aligned} x &= 0 \\ 0 & \leq x < 4 \\ x &= 4 \end{aligned}$$

Sehingga :

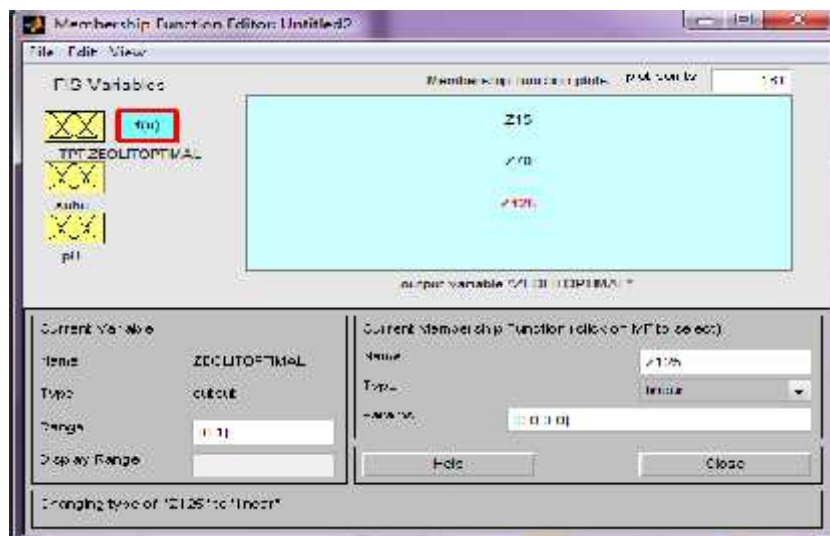
$$\begin{aligned}\mu_{\text{Baik}}[3] &= (3-0)/(4-0) \\ &= 3/4 \\ &= 0.75\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Baik}}[2] &= (2-0)/(4-0) \\ &= 2/4 \\ &= 0.5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Baik}}[1] &= (1-0)/(4-0) \\ &= 1/4 \\ &= 0.25\end{aligned}$$

4.3.1.4 Output Pengolahan Data

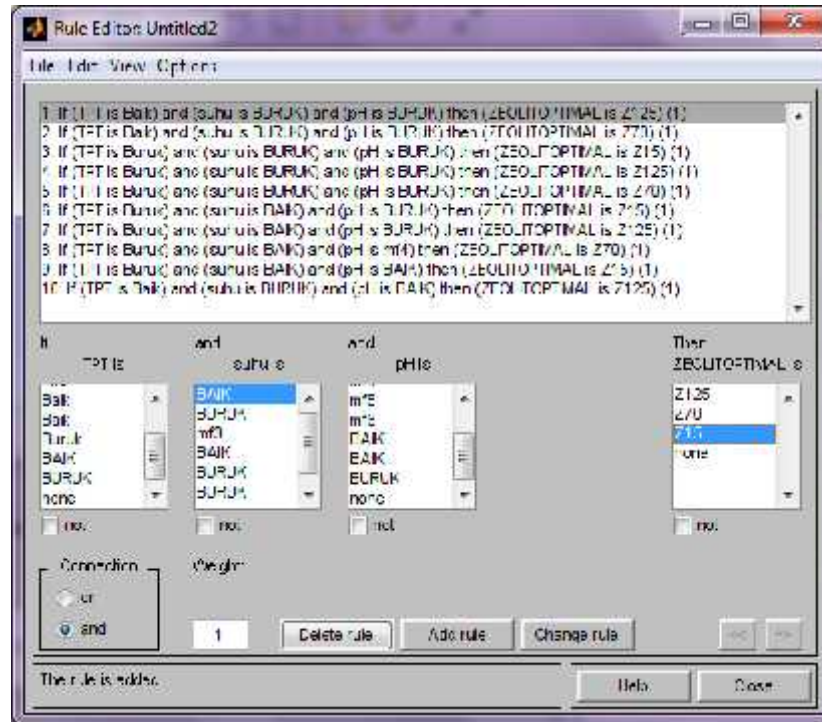
Setelah melalui beberapa tahap *penginputan* data maka akan dihasilkan *output* dari pengolahan data dengan *range* [0-1], adapun *output* tersebut terdiri dari jumlah takaran zeolit optimal yang menjadi *input* pada pengolahan data sebelumnya yang terdiri dari 3 kategori penambahan yaitu Z15, Z70 dan Z125.



Gambar 4.13 Tampilan Himpunan Variabel *Fuzzy* Zeolit Optimal

4.3.1.5 Output Pengolahan Data Fungsi Implikasi

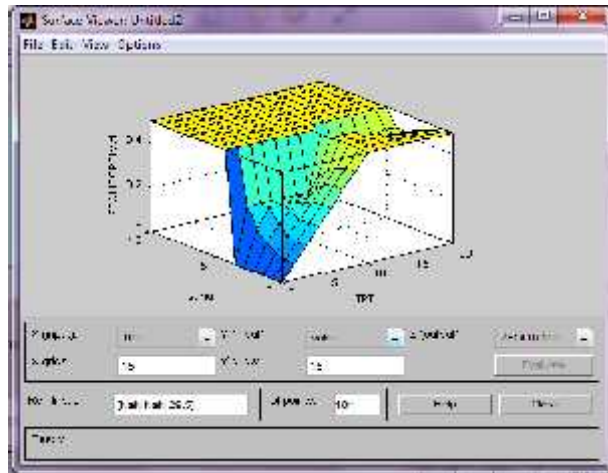
Dibawah ini merupakan beberapa fungsi implikasi yang terbentuk dari *input* data yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya dalam pengolahan menggunakan metode logika *fuzzy* sugeno



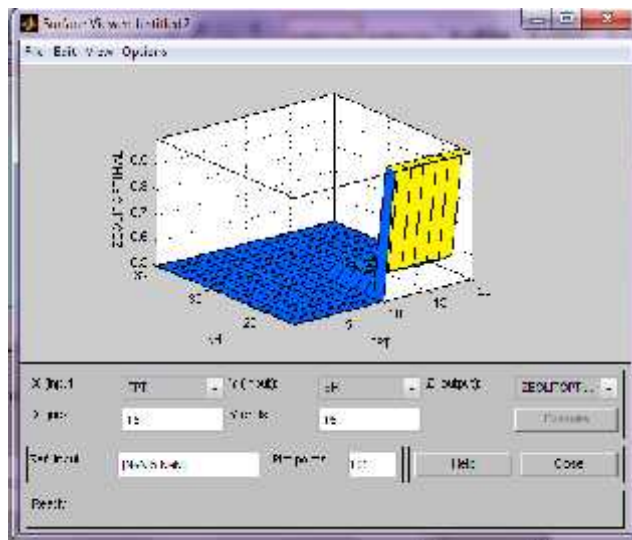
Gambar 4.14 Aplikasi Fungsi Implikasi

4.3.1.6 Output Pengolahan Data Surface Viewer

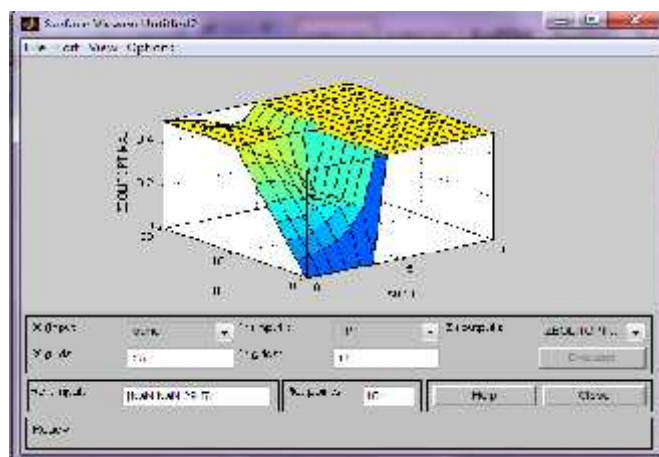
Surface Viewer berfungsi menunjukkan tingkat hubungan antar variabel *input* yang telah dirancang sebelumnya dengan menggunakan metode logika *fuzzy*, adapun beberapa *surface viewer* yang terbentuk dari pengolahan data adalah kombinasi TPT-Suhu, TPT-pH, Suhu-TPT, Suhu-pH, pH-TPT dan pH-Suhu.



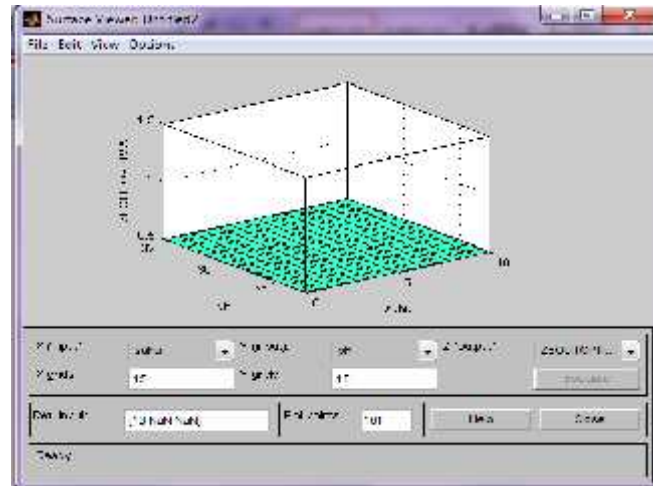
Gambar 4.15 Hasil *Surface Viewer* TPT-SUHU



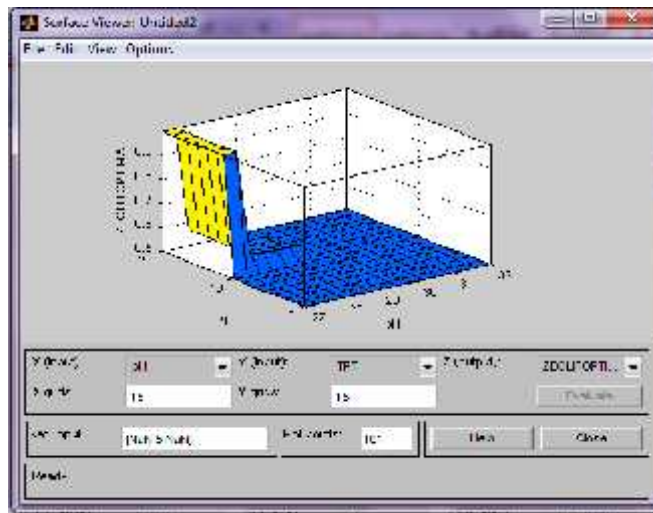
Gambar 4.16 Hasil *Surface Viewer* TPT-pH



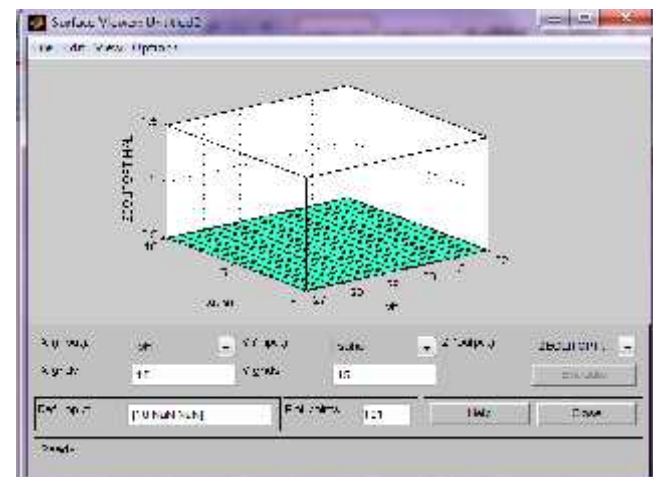
Gambar 4.17 Hasil *Surface Viewer* Suhu-TPT



Gambar 4.18 Hasil *Surface Viewer* Suhu-pH



Gambar 4.19 Hasil *Surface Viewer* pH-TPT



Gambar 4.20 Hasil *Surface Viewer* pH-Suhu

4.3.2 Pengolahan Data Dengan Metode Rancangan Acak Lengkap

Pada perhitungan ini harus menentukan data percobaan yang telah dilakukan untuk dipergunakan dalam pengolahan data desain eksperimen metode rancangan acak lengkap, kemudian menyajikan dalam bentuk tabel (Sudjana, 1994), hal ini dikarenakan untuk mempermudah dalam menentukan total dan rata-rata dalam penghitungan disetiap baris maupun kolomnya.

4.3.2.1 Pengolahan Data Dengan Metode Rancangan Acak Lengkap TPT

Berdasarkan Tabel 4.4 maka dapat dilakukan pengolahan data pada masing-masing variabel penelitian dengan metode RAL, adapun tahapan-tahapan yang terlebih dahulu akan dilakukan adalah menghitung nilai jumlah total Data yang didapat dari masing-masing penambahan zeolit.

$$\begin{aligned}\text{Total } Z_{15} &= 13 + 15.5 + 74 + 18 \\ &= 59.3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata-Rata } Z_{15} &= \text{Total } Z_{15} / 4 \\ &= 59.3 / 4 \\ &= 13.475\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total } Z_{70} &= 34 + 40 + 80 + 75 \\ &= 229\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata-Rata } Z_{70} &= \text{Total } Z_{70} / 4 \\ &= 229 / 4 \\ &= 57.25\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total } Z_{125} &= 20 + 70 + 82 + 58 \\ &= 230\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata-Rata } Z_{125} &= \text{Total } Z_{70} / 4 \\ &= 230 / 4 \\ &= 57.5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Y_{\text{Total}} &= \text{Total } Z_{15} + \text{Total } Z_{70} + \text{Total } Z_{125} \\ &= 59.3 + 229 + 230\end{aligned}$$

$$= 512.9$$

4.3.2.2 Pengolahan Data Dengan Metode Rancangan Acak Lengkap pH

Berdasarkan Tabel 4.4 maka dapat dilakukan pengolahan data pada masing-masing variabel penelitian dengan metode RAL, adapun tahapan-tahapan yang terlebih dahulu akan dilakukan adalah menghitung nilai jumlah total Data yang didapat dari masing-masing penambahan zeolit.

$$\begin{aligned}\text{Total } Z_{15} &= 1.5 + 1.8 + 1.5 + 1.6 \\ &= 6.4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata-Rata } Z_{15} &= \text{Total } Z_{15} / 4 \\ &= 6.4 / 4 \\ &= 1.6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total } Z_{70} &= 1.3 + 1.2 + 1 + 1.1 \\ &= 4.6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata-Rata } Z_{70} &= \text{Total } Z_{70} / 4 \\ &= 4.6 / 4 \\ &= 1.15\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total } Z_{125} &= 2.5 + 7 + 5.8 + 4.5 \\ &= 19.8\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata-Rata } Z_{125} &= \text{Total } Z_{125} / 4 \\ &= 19.8 / 4 \\ &= 4.95\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Y_{\text{Total}} &= \text{Total } Z_{15} + \text{Total } Z_{70} + \text{Total } Z_{125} \\ &= 6.4 + 4.6 + 19.8 \\ &= 30.8\end{aligned}$$

4.3.2.3 Pengolahan Data Dengan Metode Rancangan Acak Lengkap Suhu

Berdasarkan Tabel 4.4 maka dapat dilakukan pengolahan data pada masing-masing variabel penelitian dengan metode RAL, adapun tahapan-tahapan

yang terlebih dahulu akan dilakukan adalah menghitung nilai jumlah total Data yang didapat dari masing-masing penambahan zeolit.

$$\begin{aligned}\text{Total}_{Z15} &= 13.8 + 27.2 + 16 + 29.8 \\ &= 86.8\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata-Rata}_{Z15} &= \text{Total}_{Z15} / 4 \\ &= 86.8 / 4 \\ &= 21.7\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total}_{Z70} &= 27.3 + 27.3 + 29.8 + 29.9 \\ &= 114.3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata-Rata}_{Z70} &= \text{Total}_{Z70} / 4 \\ &= 114.3 / 4 \\ &= 28.575\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total}_{Z125} &= 27.5 + 27.3 + 29.9 + 29.9 \\ &= 114.6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata-Rata}_{Z125} &= \text{Total}_{Z125} / 4 \\ &= 114.6 / 4 \\ &= 28.65\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Y_{\text{Total}} &= \text{Total}_{Z15} + \text{Total}_{Z70} + \text{Total}_{Z125} \\ &= 86.8 + 114.3 + 114.6 \\ &= 315.7\end{aligned}$$

Tabel 4.9 Rekapitulasi Perhitungan Rancangan Acak Lengkap

Parameter	Kadar	Waktu Pengamatan	Perlakuan (gr)						YTotal
			Z15		Z70		Z125		
TPT	20 m/l	18	13	15.5	34	40	20	70	512.9
		24	7.4	18	80	75	82	58	
Total			53.9		229		230		
Rata-Rata			13.475		57.25		57.5		
pH	6.0 g/l- 9.0 g/l	18	1.5	1.8	1.3	1.2	2.5	7	30.8
		24	1.5	1.6	1	1.1	5.8	4.5	
Total			6.4		4.6		19.8		
Rata-Rata			1.6		1.15		4.95		
Suhu (C)	25°C-32°C	18	13.8	27.2	27.3	27.3	27.5	27.3	315.7
		24	16	29.8	29.8	29.9	29.9	29.9	
Total			86.8		114.3		114.6		
Rata-Rata			21.7		28.575		28.65		
YTotal			147.1		347.9		364.4		859.4

Sebelum melakukan perhitungan lebih lanjut maka sebaiknya menentukan terlebih dahulu bagian yang digunakan sebagai perlakuan (a : 15, 70 dan 125) dan pengulangan (n : 18 dan 24). Kemudian menentukan nilai N dimana nilai ini dapat ditentukan dengan mengalikan jumlah pengulangan dan perlakuan. Hal ini dimaksudkan untuk mempermudah dalam menentukan nilai F tabel.

Diketahui :

$$n = 4, a = 2 \quad N = 36$$

$$n - a = 4 - 2$$

$$= 2$$

Maka : $N - 1 = 36 - 1$

$$= 35$$

$$SS_{\text{Total}} = \sum_{j=1}^b (\bar{x}_j^2 + \bar{x}_{j2}^2 + \bar{x}_{j3}^2 \dots + \bar{x}_{jn}^2) - \frac{Y_{ij}}{N}$$

$$= \{(13)^2 + (15.5)^2 + \dots + (29.9)^2 + (29.9)^2\} - 20515.79\}$$

$$= 19202.51$$

$$\mathbf{SS_A} = \frac{1}{n} (Y_i^2 + Y_j^2 + Y_k^2) - \frac{Y_{ij}}{N}$$

$$= \frac{1}{12} (512.9)^2 + (30.8)^2 + (315.7)^2 - \frac{(859.4)^2}{36}$$

$$= 9791.01$$

$$\mathbf{SS_B} = \frac{1}{n} (Y_{ii}^2 + Y_{jj}^2 + Y_{kk}^2) - \frac{Y_{ij}}{N}$$

$$= \frac{1}{12} (147.1)^2 + (347.9)^2 + (364.4)^2 - \frac{(859.4)^2}{36}$$

$$= 2439.23$$

$$\mathbf{SS_{Subtotal}} = \frac{1}{a} (Y_{i.}^2 + Y_{i..}^2 + Y_{i..}^2 \dots + Y_{in.}^2) - \frac{Y_{ij}}{N}$$

$$= \frac{1}{4} \{(13.479)^2 + (57.25)^2 + \dots + (28.575)^2 + (28.65)^2\} - \frac{(859.4)^2}{36}$$

$$= 7186.37$$

$$\mathbf{SS_{AB}} = \mathbf{SS_{Subtotal}} - (\mathbf{SS_A} + \mathbf{SS_B})$$

$$= 7186.37 - (9791.01 + 2439.23)$$

$$= -5043.87$$

$$\mathbf{SS_{Error}} = \mathbf{SS_{Total}} - \mathbf{SS_{Subtotal}}$$

$$= 19202.51 - 7186.37$$

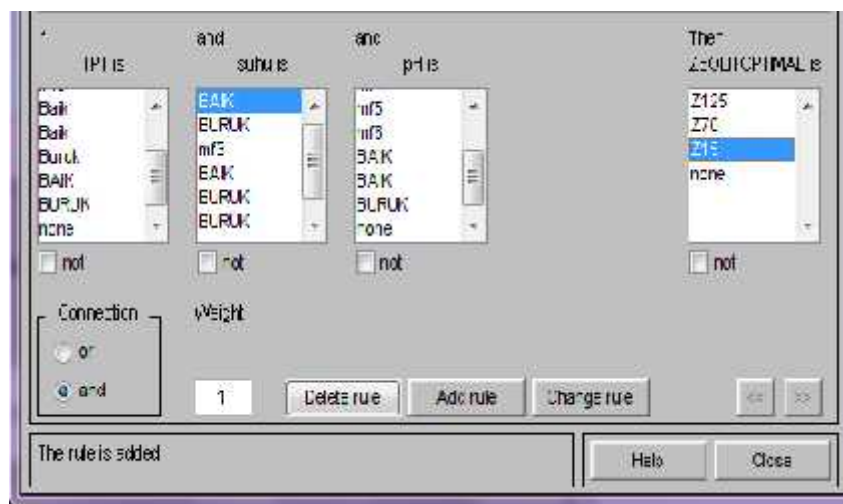
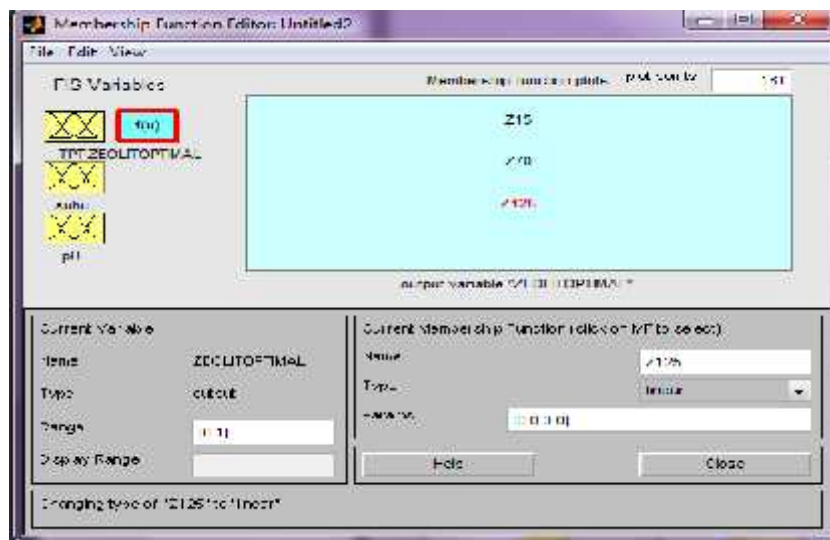
$$= 12016.15$$

Tabel 4.10 Analisis Varians

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>DF</i>	<i>MS</i>	F_o	F_{Tab}
					0.05
<i>Treatment A</i>	9791.01	2	4895.51	11.00	3.35
<i>Treatment B</i>	2439.23	2	1219.62		
<i>Interation</i>	-5043.87	4	-1260.97		
Subtotal	7186.37	8	898.30		
<i>Error</i>	12016.15	27	445.04		
Total	19202.52	35	548.64		

Berdasarkan Tabel 4.10 terlihat bahwa pengujian hipotesis yang telah di dapat manunjukkan bahwa terdapat pengaruh antara penambahan zeolit terhadap kualitas air limbah kadmium (Cd) dengan didapatnya nilai $F_{Hitung} (11.0) > F_{(Tabel\ 0.05)} (3.35)$ yang berarti H_0 (hipotesis nol) ditolak dan menerima H_a . Hal ini mengemukakan bahwa zeolit memberikan pengaruh nyata terhadap penurunan kadar limbah kadmium pelapisan logam.

Lampiran H. Hasil Pengujian Sederhana Takaran Zeolit Percobaan



BAB V

ANALISA

5.1 Analisa Penelitian Awal

5.1.1 Analisa Penelitian Awal Total Padatan Tersuspensi (TPT)

Penelitian awal dilakukan untuk mendapatkan kisaran angka yang akan dijadikan dasar pada penelitian inti. Pada penelitian awal ini total padatan tersuspensi pada kolam ketiga mendapatkan nilai kadar terendah dari tiga kolam lainnya yaitu bernilai 52.6 mg/l (Tabel 4.4). Sedangkan nilai tertinggi terjadi pada kolam keempat (Tabel 4.4). Hal ini disebabkan karena pergerakan dan sirkulasi air limbah kecil, kondisi sebaliknya terjadi pada kolam tiga kadar terendah ini terjadi karena besarnya pergerakan air limbah yang besar sehingga terjadi benturan-benturan antara air dengan dinding-dinding kolam yang pada akhirnya akan mendorong gas-gas yang tidak diinginkan dan juga akan meningkatkan kadar oksigen yang ada didalam air limbah (Ferdiaz, 2002). Berdasarkan Ketetapan Menteri Lingkungan Hidup Nomor: KEP-51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri pelapisan logam dengan nilai toleransi yang boleh dibuang ke lingkungan adalah 20 mg/l maka dapat dilihat bahwa seluruh kadar pengujian awal berada di atas ambang batas yang telah ditetapkan tersebut. Sehingga limbah tidak layak untuk dibuang ke lingkungan karena dapat menjadi bahan pencemaran bagi makhluk hidup dan organisme. Menurut Sulaiman Dan Ahmad Sofandi (2013) efek keracunan yang dapat ditimbulkannya berupa pencemaran tanah, pencemaran air tanah dan sebagainya.

5.1.2 Analisa Penelitian Awal Derajat Keasaman (pH)

Nilai kadar penelitian awal untuk derajat keasaman (pH) pada masing-masing kolam cenderung meningkat dari kolam pertama hingga kolam keempat. Nilai kadar tertinggi terdapat pada kolam keempat yaitu sebesar 4.8 gr/l, nilai ini berada pada ambang batas yang telah ditentukan Menteri Lingkungan Hidup Nomor: KEP-51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri pelapisan logam dengan nilai toleransi yang boleh dibuang ke lingkungan

yaitu 6.0gr/l - 9.0gr/l. Hal yang sama juga terjadi pada kadar nilai pada kolam pertama, kedua dan ketiga, ini disebabkan nilai asam-basa pada air limbah yang cenderung tidak stabil di masing-masing kolam (Ferdiaz, 2002). Hal inilah yang dapat menyebabkan timbulnya berbagai dampak negatif bagi makhluk hidup dan lingkungan diantaranya berupa penyakit paru-paru, hati, tekanan darah tinggi, gangguan pada sistem ginjal dan kalenjar pencernaan serta kerapuhan pada tulang (Ahmad Sofandi dan Sulaiman, 2013).

5.1.3 Analisa Penelitian Awal Suhu

Tabel 4.4 dalam hal ini menunjukkan nilai kadar penelitian pengujian awal suhu yaitu berada pada rentang $27.3^{\circ}\text{C} - 29^{\circ}\text{C}$, nilai kadar tertinggi berada pada kolam keempat yaitu sebesar 29°C , kolam pertama dan kedua bernilai sama yaitu sebesar 27.3°C yang merupakan kadar terendah dan kolam ketiga bernilai 27.5°C . Suhu menyatakan besaran fisika yang menyatakan banyaknya panas yang terkandung dalam suatu benda semakin tinggi suhu akan menyebabkan toksisitas daya racun zat pencemar semakin tinggi. Berdasarkan Ketetapan Menteri Lingkungan Hidup Nomor: KEP-51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri pelapisan logam dengan nilai toleransi yang boleh dibuang ke lingkungan yaitu $27^{\circ}\text{C}-32^{\circ}\text{C}$ dalam hal ini kadar suhu pada kolam secara keseluruhan masih berada dalam keadaan yang diperbolehkan untuk dibuang ke lingkungan.

5.2 Analisa Dengan Metode Logika *Fuzzy* Sugeno

5.2.1 Total Padatan Tersuspensi (TPT)

Berdasarkan hasil pengolahan data pada Gambar 4.8 maka dapat dilihat bahwa komposisi yang baik dan dapat digunakan adalah pada rentang $x \leq 20$ atau $x \leq 180$, $20 \leq x \leq 100$ dan $100 \leq x \leq 180$. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.8 dengan tanda garis berwarna merah.

Jadi, komposisi penambahan zeolit yang paling baik di tinjau dari TPT adalah dengan penambahan zeolit sebesar 80 gram dengan derajat keanggotaan 0.75, penambahan 60 gram dengan derajat keanggotaan 0.5 dan penambahan 40 gram dengan derajat keanggotaan 0.25.

5.2.2 Suhu

Berdasarkan hasil pengolahan data pada Gambar 4.10 maka komposisi yang baik digunakan adalah pada rentang $x = 27, 27$ x 29.5 dan $x = 29.5$. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.10 dengan tanda garis berwarna merah serta membentuk grafik linear turun.

Jadi, komposisi yang baik di tinjau dari suhu adalah dengan suhu 29°C dengan derajat keanggotaan 0.8, suhu 28.5°C dengan derajat keanggotaan 0.6, suhu 28°C dengan derajat keanggotaan 0.4 dan suhu 27.5°C dengan derajat keanggotaan 0.2.

5.2.3 Derajat Keasaman (pH)

Berdasarkan hasil pengolahan data pada Gambar 4.12 maka komposisi yang baik digunakan adalah pada rentang $x = 0, 0$ x 4 dan $x = 4$. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.12 dengan tanda garis berwarna merah yang membentuk grafik linear turun.

Jadi, komposisi yang baik di tinjau dari pH adalah dengan pH sebesar 3 g/l dengan derajat keanggotaan 0.75, suhu 2 g/l dengan derajat keanggotaan 0.5 dan 1g/l dengan derajat keanggotaan 0.25.

5.2.4 Himpunan Variabel *Fuzzy*

Berdasarkan kasus diatas maka dapat dilihat bahwa variabel yang digunakan ada 2 yaitu variabel baik dan variabel buruk dengan variabel output yaitu Z_{15} , Z_{70} dan Z_{125} . Sedangkan untuk grafik yang digunakan adalah grafik segitiga untuk total padatan tersuspensi (TPT), grafik ini terbentuk dari hasil pengolahan data (Gambar 4.8) dan grafik linear turun digunakan untuk suhu (Gambar 4.9) dan derajat keasaman (pH) (Gambar 4.10). Menurut Safrijal (2013) perbedaan grafik yang terbentuk dari masing-masing komponen penelitian cenderung dipengaruhi oleh masing-masing takaran input data yang digunakan sebagai variabel kontrol dari masing-masing objek yang diteliti. Hal yang serupa juga di utarakan oleh Teguh (2013) kecenderungan grafik yang terbentuk bergantung dari masing-masing input data penelitian dan perlakuan yang diberikan kepada masing-masing variabel penelitian. Semakin variatif input dan

perlakuan, akan semakin variatif pula grafik yang akan terbentuk.

5.2.5 Aplikasi Fungsi Implikasi

Terdapat beberapa fungsi implikasi yang terbentuk dari pengolahan data menggunakan metode logika *fuzzy* adalah sebagai berikut :

Tabel 5.1 Fungsi Implikasi

Aturan	TPT	Suhu	pH	Fungsi Implikasi	Zeolit Optimal
R1	BAIK	BURUK	BURUK	⇒	Z125
R2	BAIK	BURUK	BURUK	⇒	Z70
R3	BURUK	BURUK	BURUK	⇒	Z15
R4	BURUK	BURUK	BURUK	⇒	Z125
R5	BURUK	BURUK	BURUK	⇒	Z70
R6	BURUK	BAIK	BURUK	⇒	Z15
R7	BURUK	BAIK	BURUK	⇒	Z125
R8	BURUK	BAIK	EROR	⇒	Z70
R9	BURUK	BAIK	BAIK	⇒	Z15
R10	BAIK	BURUK	BAIK	⇒	Z125

Pada Tabel 5.1 dapat dilihat bahwa pada aturan R8 terdapat tingkat eror atau mf4 (Gambar 4.14) pada derajat keasaman (pH), hal ini menunjukkan bahwa dengan komposisi sebanyak Z70 tidak dapat membentuk fungsi implikasi yang kompleks (Safrijal, 2013). Hal ini juga di perkuat dengan pernyataan salah satu pakar dalam penelitian ini yaitu Teguh (2013) yang menyatakan bahwa penambahan zeolit sebanyak Z70 tidak dapat membentuk fungsi implikasi yang kompleks ditunjukkan dengan tidak terbentuknya *Surface Viewer* pada komposisi Suhu-pH (Gambar 4.18) dan pH-Suhu (Gambar 4.18).

5.2.6 *Surface Viewer*

Surface Viewer berfungsi menunjukkan tingkat hubungan antar variabel *input* yang telah dirancang sebelumnya dengan menggunakan metode logika *fuzzy*, adapun beberapa *surface viewer* yang terbentuk dari pengolahan data sebanyak 6 kombinasi yaitu kombinasi TPT-Suhu (Gambar 4.15), TPT-pH (Gambar 4.16), Suhu-TPT (Gambar 4.17), Suhu-pH (Gambar 4.18), pH-TPT

(Gambar 4.19) dan pH-Suhu (Gambar 4.20).

5.3 Analisa Dengan Metode Rancangan Acak Lengkap

Parameter kualitas air yang diukur dengan perlakuan yang sama yang dijadikan sebagai data dalam penelitian ini dengan menambahkan mineral alam zeolit. Adapun data hasil pengukuran kualitas air dapat dilihat pada Tabel 4.8.

5.3.1 Total Padatan Tersuspensi (TPT)

Jumlah padatan tersuspensi merupakan bahan-bahan organik dan anorganik yang larut dan melayang dalam air serta berhubungan erat dengan tingkat kekeruhan air, dimana semakin tinggi kandungan padatan tersuspensinya maka air akan semakin keruh.

Dari Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa nilai TPT pada air sampel berkisar antara 7.4 – 82 mg/l dengan kandungan awal antara 52.6 – 53 mg/l. kandungan TPT tertinggi terdapat pada perlakuan Z_{125} dengan waktu dedah 24 jam (82 mg/l) dan kandungan TPT terendah terdapat pada perlakuan Z_{15} dengan waktu dedah 24 jam (7.4 mg/l).

Penurunan kandungan TPT disebabkan karena terjadinya proses flokulasi secara optimum dimana sebagian besar zeolit tidak larut tetapi mengendap sebagai flok yang dapat mengurung koloid dan membawanya ke bawah. Penempelan molekul-molekul zeolit pada permukaan koloid ini akan mengubah muatan listriknya, dimana molekul Al (Aluminium) bermuatan positif sedangkan koloid biasanya bermuatan negatif (Alaert dan Santika, 1984).

Setelah mengalami proses pengendapan secara optimal hingga waktu dedah 18 jam, pada waktu dedah 24 jam proses pengendapan TPT tidak optimal lagi. Hal ini disebabkan terjadinya perubahan suhu, yaitu dari 1.5⁰C pada waktu dedah 24 jam menjadi 5.4⁰C. Adanya peningkatan suhu sebesar 3.9⁰C mengakibatkan TPT yang terperangkap dalam pori-pori zeolit terlepas kembali yang pada akhirnya meningkatkan kekeruhan. Hal ini sesuai dengan pendapat Suhardi (1998) yang menyatakan bahwa suhu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya kapasitas penyerapan pada permukaan padatan.

Kenaikan kandungan TPT pada waktu dedah 24 jam diduga disebabkan terjadinya kejenuhan dari zeolit untuk menyerap TPT sehingga reaksi adsorpsi antara zeolit dengan partikel tersuspensi yang terdapat dalam air limbah berkurang. Pada kondisi demikian ikatan yang terjadi antara permukaan zeolit dengan partikel tersuspensi terlepas sehingga menimbulkan kekeruhan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Erliati (2001) yang menyatakan bahwa zeolit memiliki daya adsorpsi fisika dan kimia, adsorpsi yang terjadi pada molekul disebabkan gaya intermolekul dari adsorben dengan molekul adsorbat dan bersifat *ireversibel*. Sedangkan adsorpsi kimia terjadi karena ikatan kimia antara adsorben dengan adsorbat dan bersifat *reversible*. Suhardi dalam Sitorus (2002) juga menyatakan bahwa pada adsorpsi fisika partikel yang teradsorbs tidak terikat secara kuat pada bagian permukaan adsorben sehingga partikel tersebut dapat bergerak dari bagian permukaan kebagian lainnya.

Berdasarkan baku mutu limbah cair untuk industri pelapisan logam yang ditetapkan oleh KEP-51/ MENLH/10/1995, TPT maksimum yang dibuang ke lingkungan adalah 20 mg/l dengan beban pencemaran 0.40 gram /ton. Jika dibandingkan TPT hasil penelitian yaitu 13 mg/l, 15,5 mg/l, 7.4 mg/l dan 18 mg/l. Kandungannya telah berada dibawah ambang batas yang telah ditentukan untuk penambahan zeolit sebanyak 15 gram (Z_{15}). Jadi dengan adanya pemberian zeolit pada air limbah pelapisan logam UPT. Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru sebanyak 15 gram limbah tersebut sudah layak dibuang ke lingkungan.

5.3.2 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu parameter air yang penting untuk diketahui, karena banyak reaksi kimia dan biokimia yang terjadi pada tingkat pH tertentu. pH juga dapat digunakan sebagai indikator kimiawi untuk mengetahui kejadian pencemaran.

Hasil pengukuran pH selama penelitian Tabel 4.8, menunjukkan bahwa pH air sampel berkisar antara 1-7 dengan pH awal 4.54-4.8. dari hasil pengukuran pula diketahui bahwa pH mengalami penurunan (asam) sampai 3.8 (Z_{70}) dengan waktu dedah 24 jam. Kemampuan zeolit yang sudah diaktivasi dapat

mengadsorpsi ion-ion logam berat sampai lebih dari 90 % untuk menyerap ion logam kondisi yang baik pada $\text{pH} < 4$ dan untuk logam lain pada $\text{pH} 4.5$ (Suryatono dan Husaini, 1991).

Penurunan pH ini disebabkan tingginya ratio Al/Si (Aluminium/Silika) yang terkandung dalam zeolit sehingga mempengaruhi pH. Menurut Indriana (1999), kekuatan asam akan meningkat dengan bertambahnya rasio Al Dan Si. Selanjutnya Sugiharto dalam Indriana (1999) menambahkan bahwa tingginya suhu akan mengakibatkan larutnya beberapa mineral silika dan terjadinya konsumsi ion hidroksida.

Berdasarkan baku mutu limbah cair untuk industri pelapisan logam yang ditetapkan oleh KEP-51/ MENLH/10/1995, pH yang dapat dibuang ke lingkungan adalah 6.0-9.0. Jika dibandingkan pH hasil penelitian, Jadi dengan adanya pemberian zeolit pada air limbah pelapisan logam UPT. Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru ditinjau dari nilai pH limbah tersebut belum layak dibuang ke lingkungan. Dengan begitu maka disarankan untuk mengkombinasikan zeolit dengan mineral alam lain yang dapat membantu meningkatkan parameter pH atau menggunakan zeolit dengan jumlah takaran yang berbeda.

5.3.3 Suhu

Suhu merupakan proses alami dalam lingkungan yang dapat mempengaruhi kehidupan dan pertumbuhan organisme dan makhluk hidup. Suhu air limbah sangat dipengaruhi oleh lingkungan seperti suhu udara disekitarnya dan densitas air tersebut. Dari data pengamatan suhu air selama penelitian berkisar antara 13.8°C - 29.9°C . pengaruh suhu terhadap pemberian zeolit pada suhu mencapai 29.9°C proses penyerapan zeolit menjadi lepas kembali yang meningkatkan kekeruhan dan kadar kadmium meningkat.

Secara keseluruhan keadaan suhu dalam air sampel masih berada dalam kondisi yang optimal bagi perkembangan dan pertumbuhan organisme dan makhluk hidup. Boyd (2002) mengemukakan bahwa, di daerah tropis suhu berkisar antara 25°C - 32°C masih layak untuk kehidupan organisme dan makhluk hidup.

5.4 Implementasi Pemberian Zeolit Pada Kolam Pengolahan Limbah UPT Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru

Pemberian zeolit dilakukan pada kolam sesuai dengan hasil penelitian perlakuan sebanyak 15 gram sudah dapat memberikan pengaruh terhadap kualitas air limbah kadmium (Cd). Dengan volume kolam sebanyak 2200 liter maka zeolit yang dibutuhkan adalah :

$$\begin{aligned} 15 \text{ gr/l} &= 2200 \text{ liter} \\ \text{Zeolit} &= 33000 \text{ gram} \\ &= 33 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Jadi, jumlah zeolit yang dibutuhkan untuk menurunkan kadar kadmium pada UPT. Riau *Elektroplating* Industri dengan volume limbah sebanyak 2200 Liter adalah 33 Kg. dengan harga Rp 650/ Kg maka dibutuhkan biaya sebesar Rp 21.450.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Dari hasil pengolahan dan analisa data terlihat bahwa terdapat pengaruh antara penambahan zeolit terhadap kualitas air limbah kadmium (Cd) yaitu dengan nilai $F_{Hitung} (11.0) > F_{(Tabel\ 0.05)} (3.35)$ yang berarti H_0 (hipotesis nol) ditolak dan menerima H_a . Hal ini mengemukakan bahwa zeolit memberikan pengaruh nyata terhadap penurunan kadar limbah kadmium pelapisan logam UPT. Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru
2. Jumlah komposisi yang optimal untuk penambahan zeolit pada limbah kadmium pelapisan logam UPT. Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru yaitu sebanyak 15 gram Untuk Total Padatan Tersuspensi dengan waktu dedah 18 dan 24 jam dengan kadar 13 mg/l, 15,5 mg/l, dan 18 mg/l. sedangkan 70 gram ($27,3^0C$, $27,3^0C$, $29,8^0C$ dan $29,9^0C$) dan 125 gram ($27,5^0C$, $27,3^0C$, $29,9^0C$ dan $29,9^0C$) untuk Suhu dengan waktu dedah 18 dan 24 jam

6.2 Saran

1. Diharapkan agar zeolit dapat dimanfaatkan oleh pihak Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Pekanbaru sebagai salah satu alternatif dalam mengolah limbah pelapisan logam untuk menurunkan kadar limbah kadmium (Cd).
2. Diharapkan juga ada penelitian tentang kombinasi antara zeolit dengan bahan lain sehingga agar nantinya dapat diketahui penggunaan zeolit dapat mempengaruhi parameter kualitas air limbah yang lainnya khususnya pH.

DAFTAR PUSTAKA

- Allaert dan Sartika. "*Metoda Penelitian Air*". Usaha Nasional, Surabaya. 1984.
- Amrizal. "*Analisis Kandungan Logam Berat*". Usaha Nasional, Surabaya. 2008
- Boyd. "*Water Quality in Warm Fish Pound Auburn*". University Agriculture Experiments Station, Alabama. 2002
- Fardiaz, U. "*Polusi Air dan Udara*", Kanisius", Yogyakarta. 2002.
- Forstner. "*Metal Concentration in River, Lake and Ocean Water*". Alabama Press, Alabam. 1998.
- Forteach, N. "*Hand Book on Recirculation System For Aquatik Organism*". National Key Center For Teaching and Research in Aquaculture, Hobart. 1994.
- Hadiguna, R. A. "*Alokasi Pasokan Berdasarkan Produk Unggulan Untuk Rantai Pasokan Sayuran Segar*". Jurnal Universitas Andalas, Padang. 2007
- Hutagalung, H.P. "*Mengenal AAS (Atomic Adsorption Spectrophotometer)*". Pewarta Oseana, Jakarta. 1994.
- Jhon, N. "*Hand Book on Recirculation System For Aquatik Organism*". National Key Center For Teaching and Research in Aquaculture, Hobart. 2009.
- Johari. "*Polusi Air dan Udara*", Kanisius, Yogyakarta. 2009.
- Komar dkk. "*Mengenal Zeolit Dan Sifat-Sifatnya*". Pewarta Oseana, Jakarta. 2005.
- Lahmudi dkk. "*Logika Fuzzy Untuk Penentuan Jurusan Di SMA*". Jurnal Teknik Industri, ISSN : 1411-6340, Gorontalo. 2012.
- MENLH. "*Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. KEP-51/MENLH/10/1995, Tentang Baku MutuLimbah Cair Bagi Kegiatan Industri*". *Industri Pelapisan Logam*. Kantor Menteri Lingkungan Hidup, Jakarta. 1995.
- Mifbakhuddin dkk. "*Pengaruh Perendaman Larutan Asam Cuka Terhadap Kadar Logam Berat Kadmium Pada Kerang Hijau*". UMM. Semarang. 2000.

- Medilka, A. "*Pemanfaatan Zeolit Dalam Menurunkan Kadar Limbah Kadmium (Cd) Pada Air Limbah Pelapisan Logam*", Tidak Diterbitkan, UR. 2005
- O-fish. "Kualitas Air". www.google.com. http://O-fish.com/kualitas_air.htm. diakses 1 maret 2013.
- Palar, H. "*Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*", Rineka Cipta, Jakarta. 1994.
- Razak. "*Pengaruh Logam Berat Terhadap Lingkungan*". Pewarta Oseana, Jakarta. 1997.
- Revina dkk, "*Analisis Health Untuk Pekerja, Safety, Dan Enviroment (HSE) Berbasis Logika Fuzzy Pada Unit Pembakaran (Preheater-Rotary Kiln-Cooler) Studi Kasus Industri Semen*". Jurusan Ilmu Komputer, FMIPA, Universitas Udayana, Yogyakarta. 2012.
- Riyanto. "*Petunjuk Cara Pengambilan Contoh dan Metode Analisa Logam Berat*". LON-LIPI, Jakarta.1991.
- Rizka, "*Toleransi Zoonoxanthella Pada Juvenil Kima (Tridacna Derasa) Terhadap Berbagai Konsentrasi Kadmium (Cd)*", Pewarta Oseana, Makssar. 2011.
- Sachari. "*Desain Alat Pengolah Limbah Perkotaan Sistim Terpadu dengan Bahan Zeolit*". Majalah Pertambangan dan Energi No. 2/XX/2011, Jakarta. 2011.
- Saeni, M.S. "*Penentuan Tingkat Pencemaran Logam Berat dengan Analisa Rambut*". Orasi Ilmiah, Guru Besar Tetap Ilmu Kimia Lingkungan FMIPA. IPB, Bogor. 1997.
- Siddik, dkk, "*Bunga Rampai. Bahan Galian dan Air Bawah Tanah*". Kanwil Departemen Pertambangan dan Energi, Provinsi Sumatra Utara, Medan. 1992.
- Sudjana, S.H. "*Desain dan Analisa Experimen*". Edisi III. Tarsito, Bandung.1994.
- Sudi dkk. "*Jenis dan Manfaat Mineral Alam*". Tarsito, Bandung. 2006.
- Suhala, S dan M. Arifin. "*Bahan Galian Industri, Pusat Pertambangan Teknologi dan Mineral*", Bandung. 1997.
- Supranto, J. "*Statistik Industri Dasar*". Tarsito, Bandung. 2004.
- Sugiarto dkk. "*Pemilihan Area Pengetahuan Kunci Pada Proses Produksi Barang Celup Lateks Dengan Pendekatan Logika Fuzzy*". UMS, Semarang. 2011.

- Suryatono dkk. “*Pencemaran Lingkungan*”. Pewarta Oseana, Jakarta. 1991.
- Tahir dkk. “*Sistem Pengambilan Keputusan Pemeliharaan Untuk Industri Kecil Dan Menengah Dengan Gabungan Model Optimasi*”. Jurnal Ilmiah Elektrikal Engineering Volume 07/ No. 01/ Januari-April/ 2009, Malaysia. 2009
- Thoha, S. “*Pencemaran Laut dan Dampaknya Bagi Lingkungan*”. Amerta 2, Jakarta. 1991.
- Ubbe dkk. “*Analisis Kimia Dan Limbah Industri*”. Bahan Pelatihan DISPERINDAG. (tidak diterbitkan). 2000
- Wardhana, W.A. “*Dampak Pencemaran Linkungan*”. Andi Offset, Yogyakarta. 1999.
- Wayan, K. “*Statistik Industri Lanjut*”. Press UI. Jakarta. 2003.
- Widowati, “*Metal Consentration in River, Lake and Ocean Water*”. Alabama Press, Alabama. 2008.
- Yulianda. “*Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*” Rineka Cipta, Jakarta. 2010.
- Yudha. “*Metoda Penelitian Air*”. Usaha Nasional, Surabaya. 2008.