

# SISTEM PAKAR PENANGANAN LIMBAH GAS PABRIK KARET REMAH

Tanto Pratondo Utomo<sup>1</sup> dan Marimin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung  
Jl. Sumantri Brojonegoro 1 Bandar Lampung  
e-mail: [tantoputomo@lycos.com](mailto:tantoputomo@lycos.com)

<sup>2</sup> Jurusan Teknologi Industri Pertanian FATETA-IPB  
Kampus IPB Darmaga, PO Box 220 Bogor  
e-mail: [marimin@indo.net.id](mailto:marimin@indo.net.id)

## **Abstract**

*Natural Rubber Industry cause negative impact by its waste like gaseous waste which need appropriate treatment. This situation reduce amenity of community which live around the rubber factory. Problems which occur while designing the appropriate treatment for gaseous waste like treatment unit are expensive and there are several options for gaseous treatment method.*

*This paper discuss the use of expert system for supporting the decision to handle gaseous waste which is produced by crumb rubber factory.*

*According to the result of knowledge acquisition from experts can be concluded that the recommendation for treatment of gaseous waste from crumb rubber factory are decided by several criterias which are factory location, community acceptance around the factory, crumb rubber processing method, gaseous waste handling criteria, fund availability, and condition of wastewater treatment facilities. Recommendations which are produced 1) the rubber factory spend social cost, 2) the rubber factory apply the gaseous waste treatment unit, and 3) the rubber factory spend social cost and apply the gaseous waste treatment unit*

---

**Keywords:** *expert system, crumb rubber factory, gaseous waste, social cost, gaseous waste treatment unit*

## **1. Pendahuluan**

### **1.1. Latar Belakang**

Industri produk karet setengah jadi seperti *ribbed smoked sheet* (RSS), karet krep, lateks pekat, dan karet remah (SIR) merupakan salah satu agroindustri Indonesia yang potensial dengan menghasilkan devisa sebesar 1,1 milyar dollar AS dengan produksi sebanyak 1,6 juta ton karet (Biro Pusat Statistik, 2000). Selain itu, komoditas ini juga merupakan sumber mata pencaharian langsung bagi 1,6 juta keluarga petani (Ditjenbun, 1998)

Selain manfaat dan keuntungan yang didapatkan, industri karet berdampak negatif akibat limbah yang dihasilkan berupa limbah cair, padat, dan gas. Limbah gas yang dihasilkan dari pengolahan karet umumnya belum ditangani dengan baik yang disebabkan mahalnya peralatan pengolahan limbah gas dan penggunaan peralatan pengolahan limbah gas yang kurang tepat.

Penanganan limbah gas difokuskan pada pabrik pengolahan karet remah dengan bahan baku karet rakyat disebabkan perkebunan karet rakyat merupakan bagian terbesar dari keseluruhan perkebunan karet (Ditjenbun, 2000). Selain itu, lokasi dari pabrik karet remah sebagian berada di lokasi dekat pemukiman penduduk sehingga dampak dari limbah gas yang dihasilkan menuntut penanganan yang memadai.

Upaya untuk penanganan limbah gas yang sesuai dapat dilakukan berdasarkan keluaran yang dihasilkan suatu sistem pakar yang dibentuk dari hasil akuisisi pengetahuan dari pakar di bidang penanganan limbah gas dan literatur-literatur yang mendukung.

Aplikasi sistem pakar dalam penanganan pencemaran lingkungan antara lain dilakukan oleh Puñal *et al.* (2002) dalam kegiatan pemantauan dan diagnosis *pilot plant* unit pengolahan

limbah anaerobik berukuran 1,1 m<sup>3</sup> yang digunakan untuk mengolah limbah cair pabrik *fibrebord*. Jenis reaktor limbah yang digunakan adalah USBF hibrid yang merupakan kombinasi dari *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB) pada bagian bawah dan *upflow anaerobic filter* (UAF) pada bagian atas. Sistem pakar yang dihasilkan ini memberikan rekomendasi berdasarkan pengamatan-pengamatan dari reaktor skala pilot untuk penggunaan pada skala yang lebih besar.

Sistem pakar yang dikembangkan untuk penanganan limbah gas pabrik karet remah ini berdasarkan akuisisi pendapat pakar terhadap faktor-faktor eksternal yang meliputi penerimaan masyarakat sekitar pabrik terhadap cemaran yang ditimbulkan dan faktor internal pabrik yang meliputi proses pengolahan karet remah, fasilitas pengolahan limbah cair yang dimiliki, dan alokasi dana yang tersedia untuk proses penanganan limbah.

## 1.2. Tujuan dan Keluaran

Tujuan pengembangan sistem pakar penanganan gas limbah pabrik karet remah adalah untuk

- (1) mengidentifikasi dan merumuskan faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam memutuskan rekomendasi untuk penanganan limbah gas pada suatu pabrik karet remah
- (2) menganalisis dan merancang basis pengetahuan dan mekanisme inferensi sistem pakar menggunakan *fuzzy inference system* (FIS)

## 1.3 Ruang Lingkup

Sistem pakar penanganan limbah gas pabrik karet remah yang dirancang terbatas untuk pabrik karet remah yang telah berdiri dan beroperasi.

Sistem pakar penanganan limbah gas pabrik karet remah dibagi menjadi dua sub sistem yaitu sub sistem kriteria penanganan limbah gas dan sub sistem rekomendasi penanganan limbah gas.

Sub sistem kriteria penanganan limbah gas menggunakan masukan berupa lokasi pabrik, tingkat penerimaan cemaran dari masyarakat, dan proses pengolahan karet remah yang digunakan.

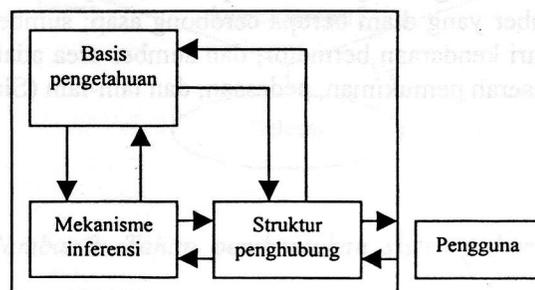
Keluaran dari sub sistem kriteria penanganan limbah gas menjadi salah satu masukan untuk sub sistem rekomendasi penanganan limbah gas selain dana yang tersedia untuk penanganan limbah gas dan fasilitas pengolahan limbah cair yang dimiliki pabrik.

## 2. Kajian Pustaka

### 2.1. Sistem Pakar

Sistem pakar menurut Hart (1986) didefinisikan sebagai program komputer yang memiliki basis pengetahuan yang luas dalam domain yang terbatas dan menggunakan penalaran yang kompleks untuk menjalankan tugas yang biasa dilakukan oleh seorang ahli. Sistem pakar bersifat interaktif dan mempunyai kemampuan untuk menjelaskan hal yang ditanyakan oleh pengguna (Harmon dan King, 1985).

Struktur dasar sistem pakar tersusun atas tiga komponen utama yaitu sistem berbasis pengetahuan, mekanisme inferensi, dan struktur penghubung antara pengguna dan sistem (Lyons, 1994).



*Gambar 1. Struktur dasar sistem pakar (Lyons, 1994)*

Sistem pakar yang dibentuk menggunakan bahasa komputer sangat perlu untuk mengerti bahasa manusia. Masalah yang timbul adalah terdapat banyak ke-*ambiguity*-an dalam bahasa manusia sehingga tidak dapat diselesaikan dengan logika biasa sehingga memerlukan perangkat logika yang mampu mengekspresikan ke-*ambiguity*-an tersebut (Marimin, 2001).

Contoh kasus tentang ke-*ambiguity*-an menggunakan rules IF ... THEN (Dhar and Stein, 1997) adalah sebagai berikut:

```
IF masa kerja is PANJANG
THEN resiko kredit is RENDAH
IF masa kerja is TIDAK PANJANG
THEN resiko kredit is TINGGI
```

Apabila ditentukan sebelumnya bahwa masa kerja yang panjang adalah 15 tahun atau lebih maka apabila apabila seseorang yang mengajukan kredit mempunyai masa kerja 14 tahun 11 bulan 3 minggu dan 6 hari atau 1 hari kurang dari 15 tahun maka akan diambil keputusan bahwa orang tersebut apabila diberi kredit akan berisiko tinggi sehingga permohonan kreditnya ditolak. Hal ini dirasakan tidak adil bagi pemohon kredit dengan masa kerja tersebut.

Untuk mengatasi hal tersebut maka pada pengembangan sistem pakar dapat menggunakan logika fuzzy yang pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Logika fuzzy merupakan bagian dari logika boolean yang digunakan untuk menangani konsep derajat kebenaran, yaitu nilai kebenaran antara benar dan salah. Logika fuzzy sering menggunakan informasi linguistik dan verbal. Dalam logika fuzzy terdapat beberapa proses yaitu penentuan gugus fuzzy, penerapan aturan *if-then*, serta proses inferensi fuzzy (Marimin, 2001). Aplikasi logika fuzzy telah dilakukan pada bidang-bidang elektronik dan rekayasa teknik seperti yang digunakan pada pembersih vakum, mesin cuci, dan stabilisasi gambar pada *camcorder* (Dhar and Stein, 1997).

## 2.2. Pencemaran Udara

Menurut Moestikahadi (2000), perubahan lingkungan udara pada umumnya disebabkan pencemaran udara yaitu masuknya zat pencemar yang berbentuk gas-gas dan partikel kecil/aerosol ke dalam udara. Masuknya zat pencemar ke dalam udara dapat secara alamiah misalnya asap kebakaran hutan, gunung berapi, debu meteorit dan pancaran garam dari laut. Sebagian besar masuknya zat pencemar juga disebabkan oleh kegiatan manusia misalnya akibat aktivitas transportasi, industri, pembuangan sampah (proses dekomposisi atau pembakaran), dan kegiatan rumah tangga.

Berdasarkan ciri fisik, bahan pencemar udara dapat berupa (1) partikel (debu, aerosol, timah hitam); (2) gas (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>S, hidrokarbon); dan (3) energi (suhu dan kebisingan), sedangkan berdasarkan dari kejadian, terbentuknya pencemar terdiri dari (1) pencemar primer yaitu pencemar yang diemisikan langsung; dan (2) pencemar sekunder yaitu pencemar yang terbentuk karena reaksi yang terjadi di udara antara berbagai senyawa (Moestikahadi, 2000; Sastrawijaya, 2000; dan Fardiaz, 1992).

Sumber pencemar dibagi menjadi beberapa sumber yaitu sumber titik, mobil, dan area. Sumber titik adalah sumber yang diam berupa cerobong asap; sumber mobil adalah sumber yang bergerak yang berasal dari kendaraan bermotor; dan sumber area adalah sumber yang berasal dari pembakaran terbuka di daerah pemukiman, pedesaan, dan lain-lain (Slamet, 2002).

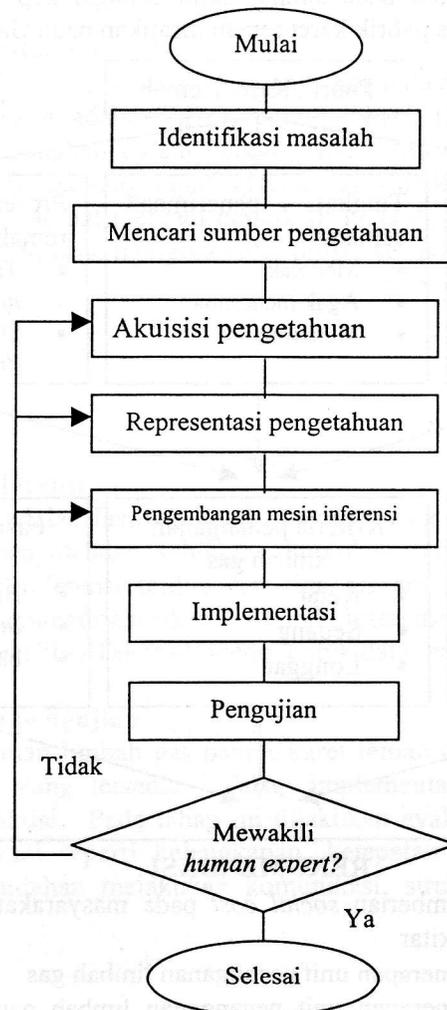
Tabel 1. Baku mutu kualitas udara ambien

Parameter	Baku mutu
1. SO <sub>2</sub>	0,01 ppm
2. CO	20,00 ppm
3. NO <sub>x</sub>	0,05 ppm
4. Ox	0,10 ppm
5. Debu	0,26 mg/m <sup>3</sup>
6. Pb	0,06 mg/m <sup>3</sup>
7. H <sub>2</sub> S	0,03 ppm
8. NH <sub>3</sub>	2,00 ppm
9. HC	0,24 ppm

Sumber: Kep-02/MENKLH/I/1988

### 3. Metodologi

Metodologi yang digunakan untuk perancangan sistem pakar penanganan limbah gas pabrik karet remah terdiri dari beberapa tahap yang secara lengkap disajikan pada Gambar 2.



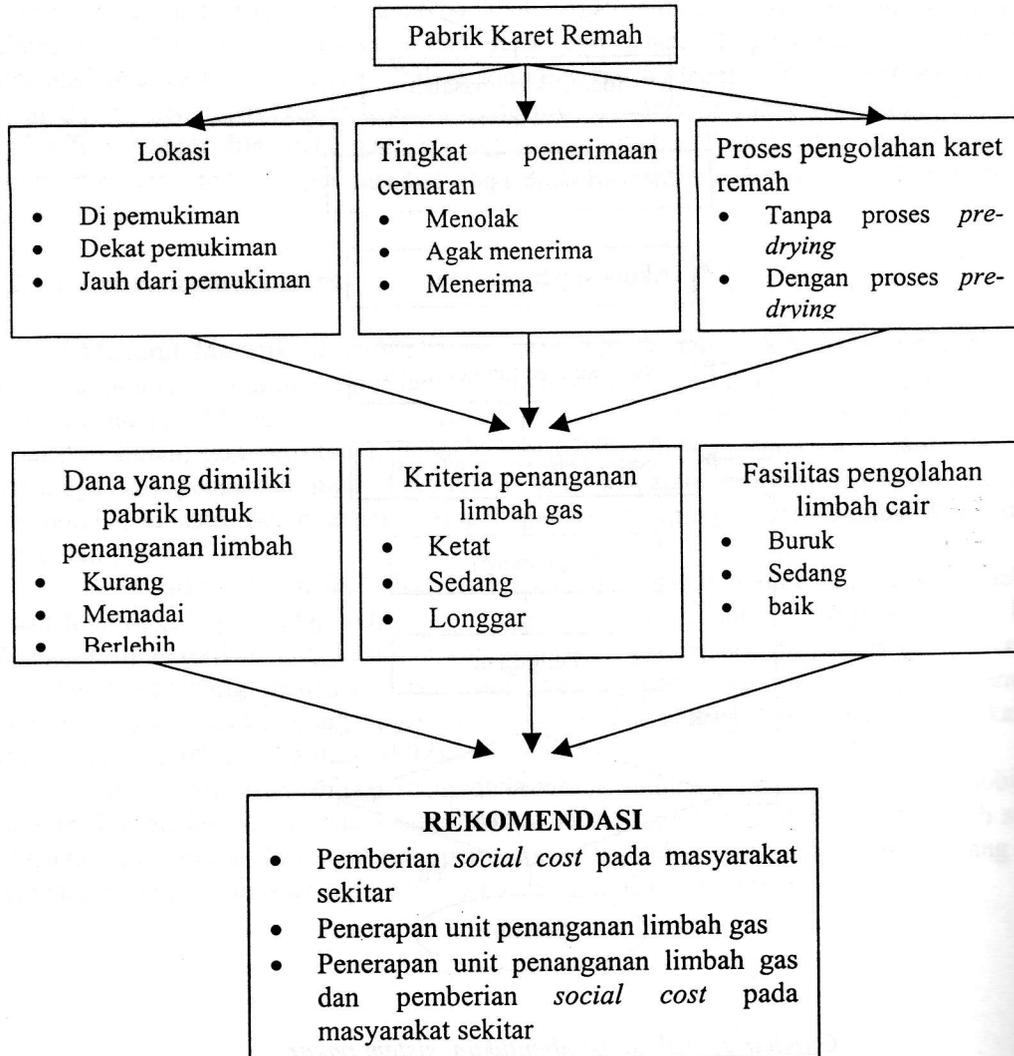
Gambar 2. Tahap pembentukan sistem pakar

### a. Tahap identifikasi dan mencari sumber pengetahuan

Tahap identifikasi permasalahan yang meliputi tahap pemilihan masalah, identifikasi tujuan, dan sumber pengetahuan. Masalah yang dihadapi oleh pabrik karet remah adalah limbah gas yang dihasilkan memerlukan penanganan yang tepat dan memadai dan untuk membantu pemecahannya memerlukan suatu rekomendasi yang dihasilkan dari sistem pakar yang dibentuk dari akuisisi pengetahuan pakar dan pustaka yang mendukung. Pakar yang dipilih untuk diakuisisi pengetahuannya terdiri dari para pakar yang berasal dari Balai Penelitian Teknologi Karet (BPTK) Bogor dan *Center for Development of Safe Agroindustrial Processes (CDSAP) IPB*.

### b. Tahap akuisisi pengetahuan

Akuisisi pengetahuan merupakan proses transfer keahlian dalam memecahkan masalah dari suatu sumber pengetahuan tertentu ke dalam suatu program (Buchanan dan Shorliffe, 1984). Fasilitas akuisisi pengetahuan digunakan sebagai alat untuk mendapatkan pengetahuan, fakta, dan aturan yang diperlukan oleh sistem pakar. Pengetahuan tersebut dapat diperoleh dari para ahli/praktisi dan didukung dengan data sekunder dari pustaka. Pengetahuan yang telah diakuisisi dari para pakar dan pustaka yang menunjang selanjutnya dibuat dalam bentuk jaringan inferensi atau pohon keputusan Pakar. Jaringan inferensi memuat faktor-faktor untuk pembuatan kaidah. Pohon keputusan memuat simpul dan cabang pohon yang dapat ditelusuri berdasarkan kondisi faktor pada simpul awal sampai pada simpul akhir sebagai keputusan (Hart, 1986). Bentuk jaringan penanganan limbah gas pabrik karet remah disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Jaringan sistem pakar penanganan limbah gas pabrik karet remah

Pengetahuan yang diakuisisi dari pakar dan pustaka dibentuk dalam satu jaringan inferensi utama untuk menghasilkan rekomendasi akhir yang tersusun dari dua jaringan inferensi yang lebih kecil dan saling berhubungan.

Jaringan inferensi pertama dibentuk dari tiga input, yaitu (1) lokasi pabrik dengan tiga tingkatan berdasarkan jarak dengan pabrik yaitu (a) di pemukiman 0 – 1 km; (b) dekat pemukiman 0,5 – 2,5 km; dan (3) jauh lebih dari 1,5 km dari pabrik; (2) tingkat penerimaan cemaran dari penduduk sekitar pabrik dengan tiga tingkatan yaitu (a) menolak; (b) agak menerima; dan (c) menerima; (3) proses pengolahan karet remah dengan dua tingkatan yaitu (a) tanpa proses *pre-drying* dan (b) dengan proses *pre-drying*

Jaringan inferensi ini dibentuk untuk menghasilkan suatu kontrol limbah dengan tiga tingkatan yaitu (1) ketat, (2) sedang, dan (3) longgar.

Jaringan inferensi kedua dibentuk dari tiga input yaitu (1) kriteria penanganan limbah gas yang merupakan output dari jaringan inferensi pertama; (2) dana yang dimiliki pabrik karet untuk penanganan limbah dengan tiga tingkatan yaitu (a) kurang; (b) memadai; dan (c) berlebih.

Fasilitas pengolahan limbah cair dengan tiga tingkatan yaitu (a) buruk, (b) sedang; dan (c) baik. Fasilitas pengolahan menjadi input karena berdasarkan akuisisi pengetahuan dari pakar dan pustaka diasumsikan bahwa digunakan teknik penanganan limbah gas dengan metode absorpsi menggunakan *wet-scrubber* yang menghasilkan limbah dalam bentuk cair sehingga memerlukan fasilitas pengolahan limbah cair.

#### a. Tahap representasi pengetahuan

Representasi pengetahuan prosedural disajikan dalam bentuk kaidah produksi. Bentuk kaidah produksi yang digunakan adalah “if” (premis); “then” (konklusi); atau (situasi-aksi). Premis-premis ini dapat dihubungkan dalam bentuk “and”. Aturan IF-THEN dapat terdiri dari beberapa kondisi dan beberapa akibat yang dapat dipecah menjadi ekspresi-ekspresi yang terdiri dari beberapa kondisi dan beberapa akibat menjadi bentuk IF  $F_1$  is  $A_1$  and  $F_2$  is  $A_2$  ... THEN  $z$  is  $K$ . Sistem inferensi Fuzzy-Takagi-Sugeno mengikuti alur proses sebagai berikut

- (1) Fuzzyfikasi masukan.
- (2) Menjalankan operator fuzzy.
- (3) Proses implikasi.
- (4) Proses agregasi.
- (5) Defuzzifikasi.

#### b. Pengembangan mesin inferensi

Mekanisme inferensi adalah fasilitas untuk memanipulasi dan mengarahkan pengetahuan yang terdapat dalam basis pengetahuan sehingga diperoleh suatu kesimpulan. Strategi yang digunakan dalam mekanisme inferensi terdiri dari tiga macam yaitu a) strategi penalaran; b) strategi pengendalian; dan c) strategi pelacakan. Metode inferensi yang digunakan menggunakan metode *Fuzzy Inference System* (FIS) Takagi-Sugeno untuk data masukan fuzzy.

#### c. Tahap implementasi dan pengujian

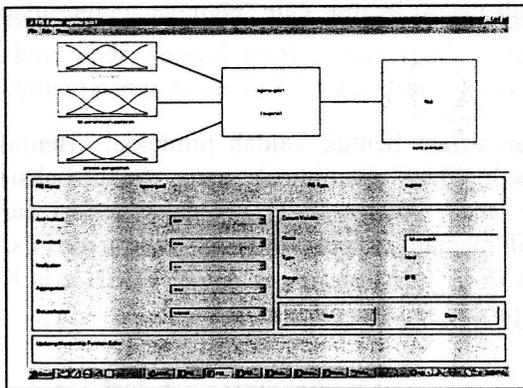
Sistem pakar penanganan limbah gas pabrik karet remah dibuat dengan Matlab versi 6.1 menggunakan fasilitas fuzzy yang tersedia. Tahap implementasi dilakukan dengan uji coba program kepada ahli atau praktisi. Pada tahap ini dilakukan evaluasi terhadap berbagai kriteria yang berkaitan dengan aplikasi seperti kelengkapan, ketepatan dan konsistensi pengetahuan, kemudahan mengakses, kemudahan melakukan komunikasi, struktur program, dan pemakaian memori.

## 4. Hasil dan Pembahasan

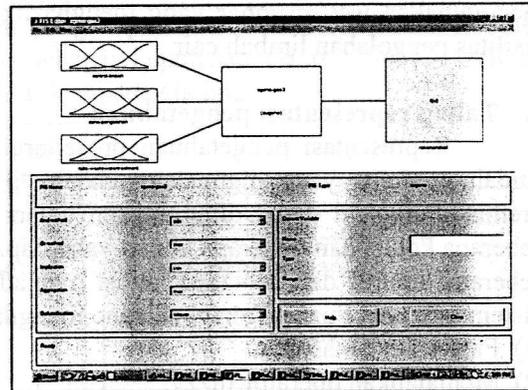
### 4.1. Rancangan Basis Pengetahuan Sistem Pakar Penanganan Limbah Gas Pabrik Karet Remah

Basis pengetahuan yang terdiri dari kaidah-kaidah dalam satu komponen faktor-faktor yang mempengaruhi rekomendasi yang dihasilkan untuk penanganan yang tepat disusun berdasarkan proses akuisisi pengetahuan yang telah dilakukan.

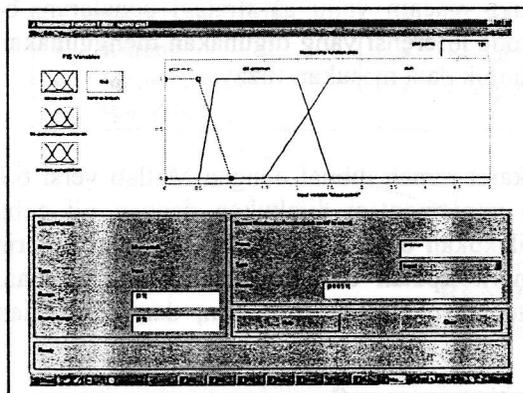
Faktor-faktor yang menjadi premis bagi kaidah-kaidah yang dibangun menggunakan pola hubungan **IF ... AND... THEN** yang terdiri dari dua sistem inferensi yang saling berhubungan. Sistem inferensi untuk menghasilkan output berupa kriteria penanganan limbah gas menjadi salah satu input untuk sistem inferensi rekomendasi penanganan limbah gas yang menghasilkan output berupa rekomendasi penanganan limbah gas (Gambar 4 dan Gambar 5). Sistem pakar yang dibuat berdasarkan masukan dari tiga masukan untuk masing-masing subsistem dengan fungsi keanggotaan Trapesioda dan TFN (Gambar 6a, b, c, d, e, f)



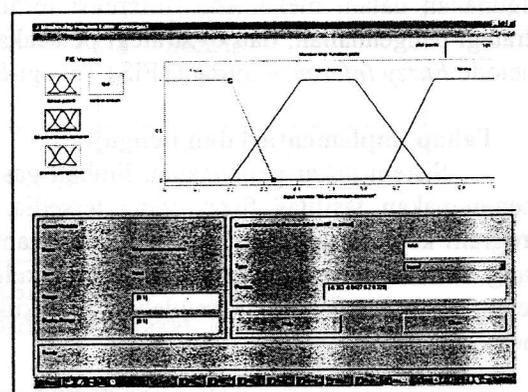
Gambar 4. Sistem Inferensi Fuzzy kriteria penanganan limbah gas



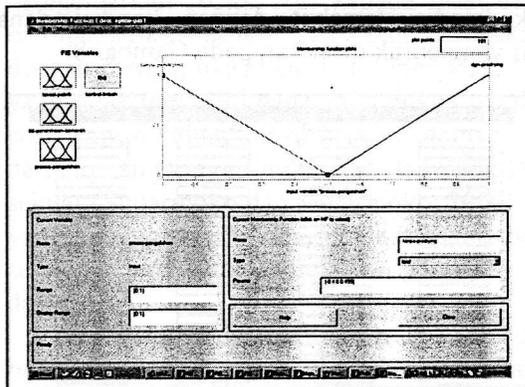
Gambar 5. Sistem Inferensi Fuzzy rekomendasi penanganan limbah gas



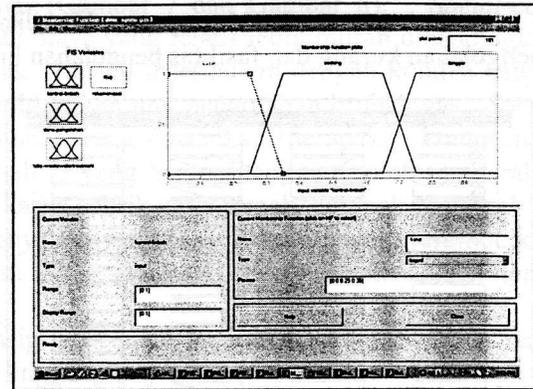
(a) lokasi pabrik



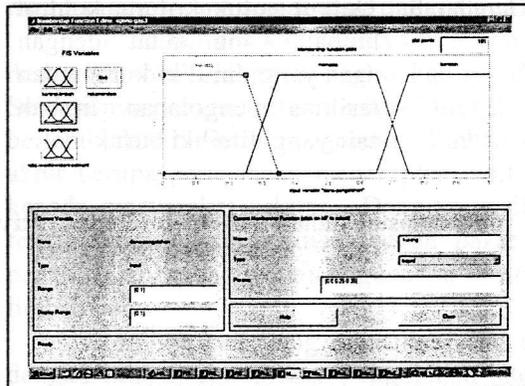
(b) Tingkat penerimaan cemaran



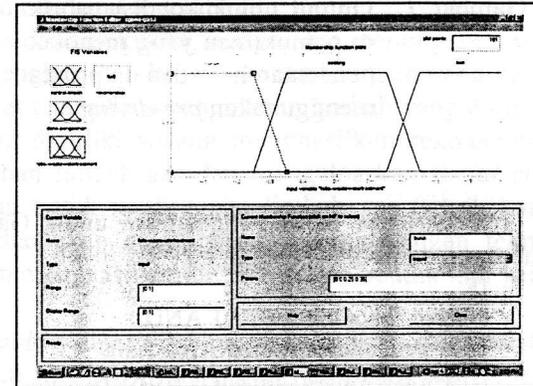
(c) Proses pengolahan



(d) Kriteria penanganan limbah gas



(e) Dana penanganan limbah gas



(f) Fasilitas pengolahan limbah cair

Gambar 6. Masukan sistem pakar

Tiga masukan subsistem kriteria penanganan limbah gas membentuk 16 *rules* pembangkit untuk menghasilkan keluaran, sedangkan tiga masukan subsistem rekomendasi penanganan limbah gas membentuk 27 *rules* pembangkit menghasilkan keluaran.

#### 4.2. Rancang Bangun Input dan Output Sistem

Rancangan input diperlukan untuk konsultasi dan penentuan penilaian terhadap kriteria-kriteria yang mempengaruhi sistem penanganan limbah gas pabrik karet remah. Pengguna memasukkan penilaian *fuzzy* terhadap kriteria-kriteria input. Rancangan output yang dikembangkan digunakan untuk memberikan kesimpulan akhir berupa rekomendasi penanganan limbah gas suatu pabrik karet remah.

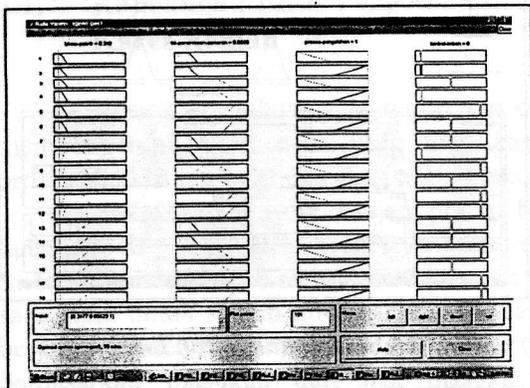
Rancangan visual output subsistem kriteria penanganan limbah gas dengan kondisi pabrik di pemukiman yang menolak pencemaran dan proses menggunakan *pre-drying* disajikan pada Gambar 7.

Struktur basis pengetahuan untuk Gambar 7 yang disusun dalam sistem inferensi *fuzzy* mempunyai pola

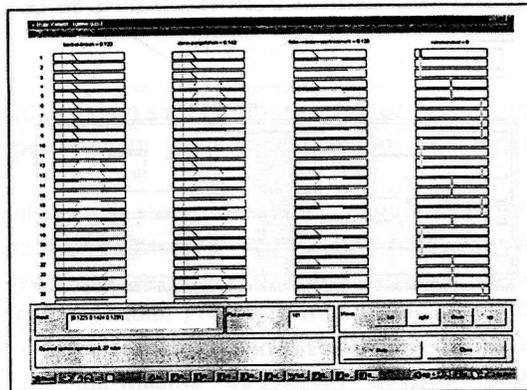
```

IF
lokasi-pabrik is PEMUKIMAN AND
tkr-penerimaan-cemaran is TOLAK AND
proses-pengolahan is DGN-PREDRYING
THEN
kontrol-limbah is KETAT
    
```

Rekomendasi akhir yang dihasilkan untuk kondisi tersebut dengan kondisi dana pengolahan kurang dan fasilitas pengolahan limbah cair yang buruk disajikan pada Gambar 8.



Gambar 7. Output untuk kondisi pabrik di pemukiman yang menolak pencemaran dan proses menggunakan *pre-drying*



Gambar 8. Output untuk kriteria kontrol limbah yang ketat dengan dana yang dimiliki kurang dan fasilitas pengolahan limbah cair yang dimiliki buruk

Struktur basis pengetahuan untuk Gambar 8 yang disusun dalam sistem inferensi *fuzzy* mempunyai pola

```
IF
kontrol-limbah is KETAT AND
dana-pengolahan is KURANG AND
fslts-wastewatertreatment is BURUK
THEN
Rekomendasi is SOCIAL COST
```

Contoh kondisi lain yang menggambarkan penggunaan basis pengetahuan hasil konsultasi adalah

```
IF
lokasi-pabrik is PEMUKIMAN AND
tkl-penerimaan-cemaran is TOLAK AND
proses-pengolahan is DGN-PREDRYING
THEN
kontrol-limbah is KETAT
IF
kontrol-limbah is KETAT AND
dana-pengolahan is BERLEBIH AND
fslts-wastewatertreat is SEDANG
THEN
rekomendasi is SOCIAL-COST-TREAT-UNIT
```

#### 4.3. Verifikasi Sistem dan Pembahasan

Sistem pakar penanganan limbah gas pabrik karet remah ini dievaluasi sampai dengan tahap verifikasi dengan menerapkan dua strategi yaitu pemeriksaan kebenaran sistem keseluruhan dengan pendekatan semantik deklaratif dan memeriksa program per unit.

Pada kondisi kondisi pabrik di pemukiman yang menolak pencemaran dan proses menggunakan *pre-drying* menghasilkan kriteria kontrol limbah yang ketat. Selanjutnya dengan kriteria kontrol limbah yang ketat tetapi dana pengolahan limbah yang dimiliki kurang dan fasilitas pengolahan limbah cair yang dimiliki buruk menghasilkan rekomendasi akhir berupa perusahaan

mengeluarkan *social cost* kepada masyarakat sekitar (Gambar 7 dan Gambar 8). *Social-cost* merupakan konsekuensi logis dan merupakan sesuatu biaya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan mengaplikasikan unit pengolahan limbah gas. Hal ini disesuaikan dengan kondisi pabrik yang tidak memiliki dana yang cukup untuk mengaplikasikan unit pengolahan limbah gas. *Social cost* yang dikeluarkan oleh suatu industri akibat limbah yang dihasilkan merupakan kompensasi dari terganggunya lingkungan dan dampak eksternalitas yang harus ditanggung oleh masyarakat sekitar (Suparmoko dan Suparmoko, 2000). Dalam kasus pabrik karet remah, dampak eksternalitas yang ditanggung oleh masyarakat adalah berkurangnya kenyamanan akibat bau yang ditimbulkan selain itu terdapat kemungkinan gangguan kesehatan akibat akumulasi dari zat pencemar tertentu dalam tubuh.

*Social cost* merupakan aplikasi dari prinsip pencemar membayar atau *polluter pays principle* berupa pengenaan pungutan atau pajak lingkungan yang merupakan kenyataan bahwa suatu barang seharusnya mencerminkan seluruh biaya produksi termasuk penggunaan sumberdaya lingkungan dan mengakomodasikan biaya eksternal atau lingkungan (Suparmoko dan Suparmoko, 2000). Berdasarkan diskusi dengan pakar maka *social-cost* yang dikeluarkan oleh pabrik dapat berupa pengecekan kesehatan dan pengobatan gratis bagi masyarakat sekitar pabrik atau membangun sarana sosial yang dapat digunakan oleh masyarakat sekitar.

Pada kondisi yang lain yaitu lokasi-pabrik is di pemukiman, masyarakat menolak cemaran dan proses-pengolahan menggunakan *pre-drying* menghasilkan kriteria kontrol limbah yang ketat. Selanjutnya dengan kriteria kontrol limbah yang ketat tetapi dana pengolahan limbah yang dimiliki berlebih dan fasilitas pengolahan limbah cair yang dimiliki sedang menghasilkan rekomendasi akhir berupa perusahaan menerapkan unit pengolahan limbah gas dan mengeluarkan *social cost* kepada masyarakat sekitar. Dana yang dibutuhkan untuk penanganan limbah gas pabrik karet remah berdasarkan diskusi dengan pakar dapat dikatakan cukup besar karena dengan teknik penanganan limbah gas menggunakan *scrubber* akan menghasilkan limbah dalam bentuk lain yaitu limbah cair.

Limbah cair yang dihasilkan dari unit *scrubber* diduga memiliki kesamaan karakteristik dengan limbah cair proses pengolahan lateks kebun menjadi produk karet setengah jadi seperti RSS, lateks pekat, dan karet remah. Limbah cair pabrik karet jenis *ribbed smoked sheet* (RSS) mempunyai kandungan COD 3000 - 5000 mg/l, BOD 2300 - 2700 mg/l, total nitrogen 200 - 400 mg/l, NH<sub>3</sub>-N 100 - 300 mg/l, NO<sub>3</sub>-N 4 - 8 mg/l, PO<sub>4</sub>-P 20 -40 mg/l, dan pH 4 - 6 mg/l sehingga memerlukan unit pengolahan limbah cair yang memadai yang mampu juga melakukan proses nitrifikasi-denitrifikasi sekaligus menyisihkan ortofosfat (Utomo, dkk., 2001). Kondisi pengolahan limbah cair dikatakan sedang apabila setidaknya terdiri dari kolam anaerobik dan fakultatif yang dengan baik mampu menurunkan COD dan BOD walaupun belum optimal untuk menyisihkan nutrisi.

Dengan tersedianya dana yang berlebih untuk penanganan limbah maka pabrik dapat mengaplikasikan unit penanganan limbah gas, tetapi mengingat kondisi unit pengolahan limbah cair yang belum mampu menyisihkan nutrisi yang antara lain berupa senyawa nitrogen maka pabrik masih harus mengeluarkan *social-cost* karena proses pengolahan limbah cair pabrik karet dengan proses anaerobik dan fakultatif menghasilkan beberapa senyawa volatil antara lain senyawa sulfur dan nitrogen yang menimbulkan gangguan berupa bau (Metcalf dan Eddy. 1991).

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1. Kesimpulan

- Berdasarkan akuisisi pengetahuan dari para pakar dan literatur maka disimpulkan bahwa
- (1) Rekomendasi untuk penanganan limbah gas pabrik karet remah ditentukan oleh beberapa masukan yaitu lokasi pabrik, tingkat penerimaan cemaran, proses pengolahan karet remah, kriteria penanganan limbah gas, dana pengolahan limbah, dan fasilitas pengolahan limbah cair.
  - (2) Rekomendasi yang dihasilkan berupa pemberian *social-cost* pada masyarakat sekitar pabrik, penggunaan unit penanganan limbah gas, dan pemberian *social-cost* berikut penggunaan unit penanganan limbah gas.

## 5.2. Saran

Masih diperlukan akuisisi pengetahuan yang lebih detil dan mendalam untuk menyempurnakan sistem pakar yang dirancang ini sehingga dapat juga digunakan untuk mendesain sistem penanganan limbah gas untuk pabrik karet yang didirikan. Selain itu, sistem pakar ini dapat dijadikan acuan pembandingan untuk perancangan sistem pakar penanganan limbah secara umum terutama limbah agroindustri.

Sistem pakar yang dirancang ini masih perlu ditambahkan dengan mekanisme pembelajaran neuro-fuzzy seperti ANFIS (*Adaptive Neural Fuzzy Inference System*) agar proses penarikan kesimpulan menjadi lebih fleksibel dan konsisten

## 6. Daftar Pustaka

- [1] Badiru, A.B. and G.E. Whitehouse. 1989. *Computer Tools. Model and Techniques for Project Management*. Blue Ridge Summit, PA.
- [2] BPS. 2000. *Statistik Ekspor-Impor*. Vol. II. Impor. BPS. Jakarta.
- [3] Buchanan, B.G. and E.H. Shortliffe. 1984. *Ruled -Based Expert System: The MYCIN Experiment of The Stanford Heuristic Programming Project*. Addison Wesley Publishing Co.
- [4] Dhar, V. and R. Stein. 1997. *Intelligent Decision Support Methods: The Science of Knowledge Work*. Prentice Hall, Inc. New Jersey.
- [5] Ditjenbun. 1996. *Statistik Perkebunan Indonesia 1996-1998. Karet*. Ditjenbun. Jakarta.
- [6] Ditjenbun. 1998. *Statistik Perkebunan Indonesia 1998-2000. Karet*. Ditjenbun. Jakarta.
- [7] Fardiaz, S. 1992, *Polusi Air dan Udara*. Perbit Kanisius. Yogyakarta.
- [8] Harmon, P and D. King. 1985. *Expert System: Artificial Intelligence in Business*. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- [9] Hart, A, 1986. *Knowledge Acquistion for Expert System*. McGraw-Hill Book Co. New York.
- [10] Menteri Negara KLH. 1988. *Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No. Kep-02/MENKLH/II/1988 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan*. Sekretariat Men. KLH. Jakarta.
- [11] Liebowitz, J. 1988. *An Introduction to Expert System*. Mitchell Publishing, Inc. California.
- [12] Lyons, P.J. 1994. *Applying Expert System, Technology to Business*. Woodsworth Publ. Co. Blemont, California.
- [13] Marimin. 2001. *Teori dan Aplikasi Sistem Pakar dalam Teknologi Manajerial*. TIN-IPB. Bogor.
- [14] Metcalf dan Eddy. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse*. McGraw-Hill Book Co. Singapore.
- [15] Oxman, S.W. 1985. "Expert Systems Represent Ultimate Goal of Strategic Decision Making". *Data Management*: April 1985.
- [16] Puñal, A., E. Roca, and J.M. Lema. 2002. "An Expert System for Monitoring and Diagnosis of Anaerobic Wastewater Treatment Plants". *Water Research*. 36(10): 2656-2666.
- [17] Sastrawijaya, A.T. 2000. *Pencemaran Lingkungan*. PT. Rineka Cipta. Jakarta
- [18] Slamet, J.S. 2002. *Kesehatan Lingkungan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- [19] Soedomo, M. 2001. *Kumpulan Karya Ilmiah mengenai Pencemaran Udara*. Penerbit ITB. Bandung.
- [20] Suparmoko, M dan M.R. Suparmoko. 2000. *Ekonomika Lingkungan*. BPFE. Yogyakarta.
- [21] Tzafestas, S.G., L. Palios, and F. Cholin. 1994. "Diagnostic Expert Systems Inference Engine Based on The Certainty Factors Model". *Knowledge Based System vol. 731*. Butterworth-Heinemann, Ltd. United Kingdom.

- [22] Utomo, T.P., M. Romli, A.M. Fauzi, A. Ismayana, 2001. Kajian proses penyisihan nutrien dari limbah cair pabrik karet menggunakan reaktor tiga tahap. *Jurnal Teknik dan Manajemen Lingkungan*. Pusat Studi Lingkungan Universitas Lampung, Februari 2001.
- [23] Waterman, D.A. 1988. *Principle of Artificial Intelligence and Expert System Development*. McGraw- Hill Book Co. Singapore.

Universitas Gunadarma  
Jl. Margonda Raya 100 Depok

#### Abstrak

Artikel ini menjelaskan tentang pengertian teknik penyandian asimetris yang diperkenalkan oleh Whitfield Diffie and Martin Hellman (1976), dengan konsep kriptografi. Pengertian kunci dalam kriptografi dibagi menjadi sepasang kunci yang berbeda yaitu enkripsi dan dekripsi. Dengan menggunakan algoritma RSA, pembentukan kunci privat dan kunci publik sistem penyandian menjadi mudah karena hanya menggunakan operasi pemangkatan. Salah satu kelemahan RSA digunakan untuk tanda tangan digital.

**Kata Kunci:** enkripsi, dekripsi, kriptografi kunci publik, kriptografi kunci privat dan algoritma RSA.

## 1. Pendahuluan

Kehadiran komputer memberi perhatian yang telah bukan hanya dalam pengolahan data saja melainkan juga dengan keamanan data. Teknologi jaringan komputer yang saat ini berkembang, memungkinkan satu komputer dapat terhubung dengan komputer lainnya dibelahan dunia ini untuk saling berbagi data dan informasi. Keterhubungan ini akan menjadi persoalan dalam masalah keamanan setiap melakukan transaksi atau pertukaran data dan informasi tersebut.

Kriptografi adalah satu kata yang tak asing didengar di telinga kita. Istilah ini memang dibutuhkan para pemakai dalam berbagi data atau informasi. Keamanan data yang dikirim ke komputer lain ( saat ini perkembangan teknologi jaringan cukup pesat) tentu harus terjamin kerahasiaannya, apalagi tergolong rahasia yang tidak boleh diketahui pihak lain yang mencoba membongkar kata sandi pada data tersebut yang selanjutnya dapat diterjemahkan menjadi informasi bagi dirinya.

Untuk melindungi masalah keamanan data atau informasi tersebut di atas akan digunakan penyandian atau kriptografi yang diberi nama teknik penyandian RSA seperti teknik dasar kriptografi, konsep kriptografi kunci publik dan algoritma RSA. RSA, diambil dari penemunya yaitu Ron Rivest, Adi Shamir and Leonard Adleman (1978).

## 2. Tinjauan Pustaka

Teknik pengacakan data yang disebut enkripsi, telah membentuk suatu bidang keilmuan yang disebut kriptografi. Prinsip dasar dari teknik enkripsi adalah menyembunyikan informasi dalam bentuk yang sedemikian rupa sehingga hanya orang yang berhak saja yang dapat mengetahui isi informasi yang disembunyikan itu. Keinginan untuk memahasiakan informasi sudah muncul sejak jaman dahulu, bahkan Sebelum Masehi.

Pada tahun 475 S.M. bangsa Sparta, suatu bangsa militer pada jaman Yunani Kuno, menggunakan teknik kriptografi yang disebut *scytale*, untuk kepentingan perang. *Scytale* terbuat dari tongkat dengan papyrus yang menggulung secara spiral. Pesan dituliskan secara melintang pada tongkat melintasi papyrus.

Kunci dari *scytale* adalah diameter tongkat yang digunakan pengiriman harus sama dengan diameter tongkat yang dimiliki penerima pesan, sehingga pesan yang disembunyikan dalam papyrus dapat dibaca dan dimengerti penerima.

Julius Caesar, seorang Kaisar terkenal Romawi yang menaklukkan banyak bangsa di Eropa dan Timur Tengah juga menggunakan suatu teknik kriptografi yang sekarang disebut Caesar