

ISSN 1693-8917



9 771693 891114

- Analisis Pelayanan Jasa Galeri Indosat SA Tuban Dengan Menggunakan Metode *Importance Performance Analysis* (IPA) dan *Quality Function Deployment* (QFD)
- Efek Patologi Merkuri terhadap Densitas *Spikula Holothuroidea* (Echinodermata) di Kawasan Bekas Penggelondongan Emas Lampon, Kabupaten Banyuwangi  
(*Mercury Pathology Effect to Spicules Density of Holothuroidea (Echinodermata) at Ceased Lampon Traditional Gold Mining, Banyuwangi District*)
- Animasi Dining Philosophers Problem untuk Mencegah Deadlock dengan Metode Semaphore  
(*Animation Dining Philosophers Problem for Preventing Deadlock with Semaphores Methods*)
- Peramalan Energi Listrik Jangka Panjang di Kabupaten Sampang Pasca Suramadu Menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan *Counterpropagation Termodifikasi*  
(*Electric Energy Long Term Forecasting in Sampang Regency Post Suramadu Using Modified Counterpropagation Artificial Neural Network Method*)
- Bi-axial Bending Strength Analysis on Single Hull Bulk Carrier due to Collision
- Teknologi Informasi sebagai Sarana Peningkatan Produktivitas
- Bioethanol Ampas Brem sebagai Sumber Bahan Bakar Terbarukan  
(*Bioethanol from Dregs Brem as Renewable Fuel Source*)

### Koordinasi Perguruan Tinggi Swasta (KOPERTIS) Wilayah VII

J. Saintek	Vol. 11	No. 1	Hal. 1–49	Surabaya Juni 2014	ISSN 1693-8917
------------	---------	-------	-----------	-----------------------	-------------------

# SAINTEK

Jurnal Ilmiah Ilmu-ilmu Teknik dan Rekayasa

---

Volume 11, Nomor 1, Juni 2014

---

---

Diterbitkan oleh Kopertis Wilayah VII sebagai terbitan berkala yang menyajikan informasi dan analisis persoalan ilmu-ilmu Teknik dan Rekayasa.

Kajian ini bersifat ilmiah populer sebagai hasil pemikiran teoretik maupun penelitian empirik. Redaksi menerima karya ilmiah/hasil penelitian atau artikel, termasuk ide-ide pengembangan di bidang ilmu-ilmu Teknik dan Rekayasa. Untuk itu SAINTEK mengundang para intelektual, ekspertis, praktisi, mahasiswa serta siapa saja berdialog dengan penuangan pemikiran secara bebas, kritis, kreatif, inovatif dan bertanggung jawab. Redaksi berhak menyingkat dan memperbaiki karangan itu sejauh tidak mengubah tujuan isinya. Tulisan-tulisan dalam artikel SAINTEK tidak selalu mencerminkan pandangan redaksi. Dilarang mengutip, menterjemahkan atau memperbanyak kecuali dengan izin redaksi.

---

---

**PELINDUNG**

Prof. Dr. H. Sujijanto, M.S., Apt.

**PENASEHAT**

Prof. Dr. Ali Maksum

**PEMIMPIN REDAKSI**

Dra. Ec. Purwo Bekt, M.Si.

**WAKIL PEMIMPIN REDAKSI**

Drs. Supradono, MM.

**SEKRETARIS REDAKSI**

Suyono, S.Sos., M.Si.

**PENYUNTING**

Prof. Dr. Ir. Achmadi Susilo, M.S.

Drs. Antok Supriyanto, M.MT.

Prof. Dr. Djwantoro Hardjito, M.Eng

**REDAKSI PELAKSANA**

Indera Zainul Muttaqien, ST.; Muhammad Machmud, S.Kom.;

Dhani Kusuma Wardhana, A.Md.; Sutipah

**TATA USAHA/SIRKULASI/IKLAN**

Tri Puji Rahayu, S.Sos., Cindy Charisma Satriyo, S.Sos., Soetjahyono

---

**Alamat Redaksi:**

Kantor Kopertis Wilayah VII Seksi Sistem Informasi

Jl. Dr. Ir. H. Soekarno No. 177 Surabaya

Telp. (031) 5925418-19, 5947473 psw. 120 Fax. (031) 5947479

Situs Web: <http://www.kopertis7.go.id>, E-mail: [jurnal@kopertis7.go.id](mailto:jurnal@kopertis7.go.id)



# SAINTEK

Jurnal Ilmiah Ilmu-ilmu Teknik dan Rekayasa

Volume 11, Nomor 1, Juni 2014

## DAFTAR ISI (CONTENTS)

	Halaman (Page)
1. Analisis Pelayanan Jasa Galeri Indosat SA Tuban Dengan Menggunakan Metode <i>Importance Performance Analysis</i> (IPA) dan <i>Quality Function Deployment</i> (QFD) <b>Anggia Kalista</b> .....	1–9
2. Efek Patologi Merkuri terhadap Densitas <i>Spikula Holothuroidea</i> (Echinodermata) di Kawasan Bekas Pengegondongan Emas Lampon, Kabupaten Banyuwangi ( <i>Mercury Pathology Effect to Spicules Density of Holothuroidea (Echinodermata) at Ceased Lampon Traditional Gold Mining, Banyuwangi District</i> ) <b>Susintowati</b> .....	10–14
3. Animasi Dining Philosophers Problem untuk Mencegah Deadlock dengan Metode Semaphore ( <i>Animation Dining Philosophers Problem for Preventing Deadlock with Semaphores Methods</i> ) <b>Nailil Uzlifah dan Mimin F. Rohmah</b> .....	15–20
4. Peramalan Energi Listrik Jangka Panjang di Kabupaten Sampang Pasca Suramadu Menggunakan Metode Jaring Saraf Tiruan <i>Counterpropagation Termodifikasi</i> ( <i>Electric Energy Long Term Forecasting in Sampang Regency Post Suramadu Using Modified Counterpropagation Artificial Neural Network Method</i> ) <b>Amirullah dan Adiananda</b> .....	21–32
5. Bi-axial Bending Strength Analysis on Single Hull Bulk Carrier due to Collision <b>Muhammad Zubair Muis Alie</b> .....	33–38
6. Teknologi Informasi sebagai Sarana Peningkatan Produktivitas <b>Darti Djuhari, Leila Salawati Chairat, dan Hariyanto</b> .....	39–43
7. Bioethanol Ampas Brem sebagai Sumber Bahan Bakar Terbarukan ( <i>Bioethanol from Dregs Brem as Renewable Fuel Source</i> ) <b>Nurfa Anisa dan Surjono Adi Walujo</b> .....	44–49



## PANDUAN UNTUK PENULISAN NASKAH

---

Jurnal ilmiah SAINTEK adalah publikasi ilmiah enam bulanan yang diterbitkan oleh Kopertis Wilayah VII. Untuk mendukung penerbitan selanjutnya redaksi menerima artikel ilmiah yang berupa hasil penelitian empiris dan artikel konseptual dalam bidang Ilmu Teknik dan Rekayasa, termasuk bidang Ilmu Pertanian.

Naskah yang diterima hanya naskah asli yang belum pernah diterbitkan di media cetak dengan gaya bahasa akademis dan efektif. Naskah terdiri atas:

1. Judul naskah maksimum 15 kata, ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris tergantung bahasa yang digunakan untuk penulisan naskah lengkapnya. Jika ditulis dalam bahasa Indonesia, disertakan pula terjemahan judulnya dalam bahasa Inggris.
2. Nama penulis, ditulis di bawah judul tanpa disertai gelar akademik maupun jabatan. Di bawah nama penulis dicantumkan instansi tempat penulis bekerja.
3. Abstrak ditulis dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris tidak lebih dari 200 kata diketik 1 (satu) spasi. Abstrak harus meliputi intisari seluruh tulisan yang terdiri atas: latar belakang, permasalahan, tujuan, metode, hasil analisis statistik, dan kesimpulan, disertakan pula kata kunci.
4. Artikel hasil penelitian berisi: judul, nama penulis, abstrak, pendahuluan, materi, metode penelitian, hasil penelitian, pembahasan, kesimpulan, dan daftar pustaka.
5. Artikel konseptual berisi: judul, nama penulis, abstrak, pendahuluan, analisis (kupasannya, asumsi, komparasi), kesimpulan dan daftar pustaka.
6. Tabel dan gambar harus diberi nomor secara berurutan sesuai dengan urutan pemunculannya. Setiap gambar dan tabel perlu diberi penjelasan singkat yang diletakkan di bawah untuk gambar. Gambar berupa foto (kalau ada), disertakan dalam bentuk mengkilap (gloss).
7. Pembahasan berisi tentang uraian hasil penelitian, bagaimana penelitian yang dihasilkan dapat memecahkan masalah, faktor-faktor apa saja yang memengaruhi hasil penelitian dan disertai pustaka yang menunjang.
8. Daftar pustaka, ditulis sesuai aturan penulisan Vancouver, disusun berdasarkan urutan kemunculannya

bukan berdasarkan abjad. Untuk rujukan buku urutannya sebagai berikut: nama penulis, editor (bila ada), judul buku, kota penerbit, tahun penerbit, volume, edisi, dan nomor halaman. Untuk terbitan berkala urutannya sebagai berikut: nama penulis, judul tulisan, judul terbitan, tahun penerbitan, volume, dan nomor halaman.

### Contoh penulisan Daftar Pustaka:

1. Grimes EW, **A use of freeze-dried bone in Endodontic**, J. Endod, 1994: 20: 355–6
2. Cohen S, Burn RC, **Pathways of the pulp**. 5<sup>th</sup> ed., St. Louis; Mosby Co 1994: 127–47
3. Morse SS, **Factors in the emergence of infectious disease**. Emerg Infect Dis (serial online), 1995 Jan-Mar, 1(1): (14 screen). Available from: URL: <http://www.cdc.gov/ncidod/EID/eid.htm>. Accessed Desember 25, 1999.

Naskah diketik 2 (dua) spasi 12 pitch dalam program MS Word dengan susur (margin) kiri 4 cm, susur kanan 2,5 cm, susur atas 3,5 cm, dan susur bawah 2 cm, di atas kertas A4.

Setiap halaman diberi nomor halaman, maksimal 12 halaman (termasuk daftar pustaka, tabel, dan gambar), naskah dikirim sebanyak 2 rangkap dan 1 disket atau CD.

Redaksi berhak memperbaiki penulisan naskah tanpa mengubah isi naskah tersebut. Semua data, pendapat atau pernyataan yang terdapat pada naskah merupakan tanggung jawab penulis. Naskah yang tidak sesuai dengan ketentuan redaksi akan dikembalikan apabila disertai perangko.

Naskah dapat dikirim ke alamat:

### Redaksi/Penerbit:

Kopertis Wilayah VII  
d/a Seksi Sistem Informasi  
Jl. Dr. Ir. H. Soekarno No. 177 Surabaya  
Telp. (031) 5925418-19, 5947473 psw. 120  
Fax. (031) 5947479  
E-mail: [jurnal@kopertis7.go.id](mailto:jurnal@kopertis7.go.id)  
Homepage: [www.kopertis7.go.id](http://www.kopertis7.go.id)



# Analisis Pelayanan Jasa Galeri Indosat SA Tuban Dengan Menggunakan Metode *Importance Performance Analysis* (IPA) dan *Quality Function Deployment* (QFD)

Anggia Kalista

Fakultas Teknik

Universitas PGRI Ronggolawe (UNIROW) Tuban

## ABSTRACT

*Customer's satisfaction measurement is an important element in providing better services, more efficiently and effectively. Customer satisfaction is a condition in which the desires, expectations and needs of customers are met. A service is considered satisfactory if the service can meet the needs and expectations of customers. To get the satisfaction of customers, PT. Indosat offers customer service. The desire to satisfy the customer also wants to be realized by Galeri Indosat Tuban services by improving customer service Galeri Indosat Tuban. With the number of users who came to the Galeri Indosat Tuban each day (50-80 people/day) makes the performance of customer service is very necessary to be considered. Level of customer satisfaction is measured through customer surveys with respondents who came in Galeri Indosat Tuban, while the observed attribute refers to the tangible dimension, Reliability, Responsiveness, Empathy and Assurances. From the results of the survey then conducted customer satisfaction measurement and calculation of gap analysis (SERVQUAL). For priority weighting to be retrieved using IPA method. As for the strategies/actions to be taken in order to improve service quality using Quality Function Deployment (QFD). From the results of the study data processing obtained gap that occurs indicates the negative gap in all dimensions of the service. This means that customer expectations are higher than reality services received. From the analysis of the IPA with the Cartesian diagram taken priority attribute improvements located in quadrant A and C, these attributes will fill customer need space on House of Quality. Based on the analysis of the data can be provided in the form of a draft recommendation concept development services to Galeri Indosat Tuban as recommendations for improvement of service quality in order to increase customer satisfaction and loyalty to the service Indosat Gallery Tuban.*

**Key words:** *Customer service, Important Performance Analysis (IPA), Quality Function Deployment (QFD)*

## PENDAHULUAN

Dalam persaingan pada industri jasa seperti industri telekomunikasi, selain kemampuan dan kehandalan produk yang ditawarkan kepada konsumen, perlu didukung juga oleh pelayanan purnajual kepada para konsumennya. Kondisi semacam ini memaksa perusahaan telekomunikasi untuk melakukan strategi yang tepat untuk mempertahankan produk mereka di pasaran. Dengan perkembangan jumlah pemakai yang semakin banyak maka banyak juga muncul perusahaan-perusahaan pendukung dalam bidang ini. Salah satu perusahaan telekomunikasi yang terbesar di Indonesia saat ini adalah PT. Indosat Tbk. Karena jumlah pelanggan yang semakin banyak dan munculnya banyak pesaing, maka perlu kiranya perusahaan mengenal seperti apa kelebihan ataupun kekurangan produknya di pasaran.

PT. Indosat yang sebelumnya bernama PT. Indonesian Satellite Corporation didirikan pada tahun 1967 sebagai perusahaan swasta yang mengatur jalur komunikasi internasional. Pada tahun 2001 PT. Indosat mengawali mendirikan perusahaan operator selular dengan produk IM3, Mentari dan Matrix. PT. Indosat juga telah mengalami naik turun jumlah pelanggan. Pada akhir tahun 2011 jumlah pelanggan Indosat mencapai

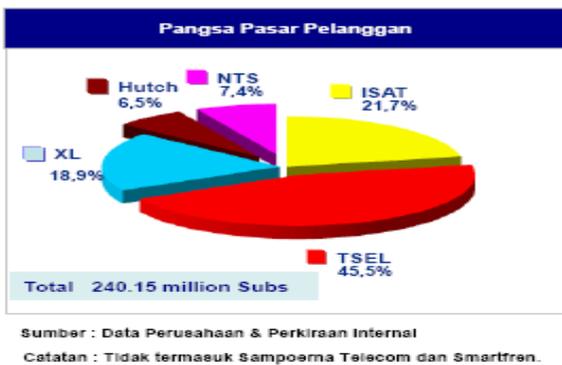
51,7 juta pelanggan dan tahun 2012 jumlah pelanggan mencapai 58,5 juta pelanggan yakni terjadi peningkatan sebesar 7,4% namun pada semester 1 tahun 2013 terjadi penurunan jumlah pelanggan sebesar -4,3% atau dengan kata lain jumlah pelanggan turun menjadi 55,9 juta. (Indosat Presentation, 2013).

Dengan melihat kondisi tersebut maka dapat disadari bahwa selain produk, pelayanan yang bermutu yang dapat diberikan tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan konsumen (pelanggan), tetapi juga dapat mengatasi persaingan yang semakin kuat. Penting sekali bagi perusahaan untuk memperhatikan keinginan pelanggannya. Perusahaan yang dapat memenuhi keinginan pelanggan akan lebih berkembang dari pada yang tidak memperhatikan keinginan pelanggannya. Hal ini membuat pentingnya *Customer Service* dalam suatu perusahaan. Dengan adanya deregulasi jasa telekomunikasi, saat ini konsumen mempunyai banyak pilihan untuk memilih penyedia jasa telekomunikasi. Untuk itu, setiap operator komunikasi selular biasanya mendirikan sebuah *Customer Service Center* atau *Walk in Center* (WIC). Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan pelayanan, sarana dan prasarana di Galeri Indosat tidak hanya di area pusat Jakarta saja, namun juga di Galeri Indosat di area regional.

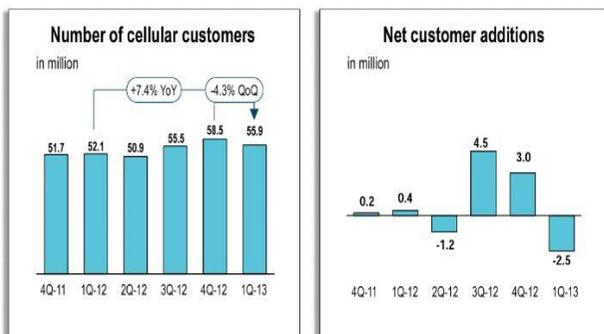
Penelitian di Galeri Indosat Tuban ini akan menggunakan metode *Importance Performance Analysis* (IPA) untuk menentukan prioritas *voice of customer* pada matriks *House of Quality* (HOQ) dan *Quality Function Deployment* (QFD) sebagai alat untuk membantu memecahkan permasalahan yang diteliti berkaitan dengan tingkat pelayanan yang diberikan PT. Indosat Tbk terhadap konsumen atau pelanggan. QFD merupakan suatu alat analisa untuk menjabarkan kebutuhan pelanggan, mengevaluasi produk atau jasa secara sistematis mengenai kemampuannya memenuhi kebutuhan tersebut.

*Importance Performance Analysis* (IPA) adalah sebuah teknik analisis deskriptif yang diperkenalkan oleh John A. Martilla dan John C. James tahun 1977 (Wei et al., 2010). *Importance Performance Analysis* adalah suatu teknik analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor kinerja penting apa yang harus ditunjukkan oleh suatu organisasi dalam memenuhi kepuasan para pengguna jasa mereka (konsumen).

Setiap pertanyaan dari masing-masing dimensi dalam kuesioner yang ditanyakan kepada responden dapat dipetakan berdasarkan tingkat kepentingan yang menjadi harapan pengguna ke dalam matriks *Importance- Performance Analysis* yang dibagi menjadi empat kuadran yaitu:



Grafik 1. Grafik Pangsa Pasar Industri Telekomunikasi Indonesia



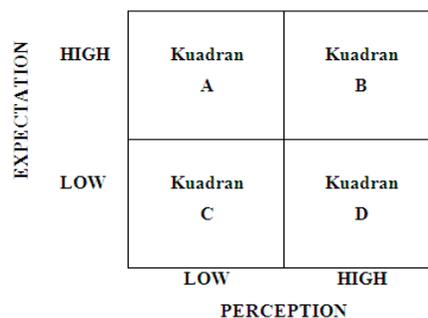
Sumber: Indosat Presentation 2013

Grafik 2. Jumlah Pelanggan Indosat di Indonesia selama 2012–2013

- Kuadran A – Prioritas Utama**  
Faktor atau atribut yang terletak dalam kuadran ini dianggap sebagai faktor yang mempengaruhi kepuasan pengguna, yaitu termasuk unsur-unsur jasa yang dianggap sangat penting, namun manajemen belum melaksanakannya sesuai keinginan pengguna sehingga mengecewakan atau dirasa belum memuaskan. Sehingga faktor-faktor yang berada di kuadran ini merupakan prioritas untuk ditingkatkan.
- Kuadran B – Pertahankan Prestasi**  
Menunjukkan unsur jasa pokok yang telah berhasil dilaksanakan oleh penyedia jasa, untuk itu wajib dipertahankan. Dianggap sangat penting dan sangat memuaskan.
- Kuadran C – Prioritas Rendah**  
Menunjukkan beberapa faktor yang kurang penting pengaruhnya bagi pengguna. Pelaksananya oleh perusahaan biasa-biasa saja. Dianggap kurang penting dan kurang memuaskan.
- Kuadran D – Berlebihan**  
Menunjukkan faktor yang menurut pengguna kurang penting, akan tetapi pelaksanaannya berlebihan. Dianggap kurang penting tetapi sangat memuaskan.

*Quality Function Deployment* (QFD) adalah metode dalam proses perancangan dan pengembangan produk atau layanan yang mampu mengintegrasikan suara-suara konsumen ke dalam proses perancangannya. QFD sebenarnya adalah merupakan suatu jalan bagi perusahaan untuk mengidentifikasi dan memenuhi kebutuhan serta keinginan konsumen terhadap produk atau jasa yang dihasilkannya. Berikut ini dikemukakan beberapa definisi *Quality Function Deployment* menurut para pakar:

- Tugas menerjemahkan permintaan-permintaan pelanggan sasaran menjadi *prototype* yang berfungsi dibantu beberapa metode yang dikenal sebagai penyebaran fungsi mutu *Quality Function Deployment* (QFD). Metodologi ini mengambil daftar atribut pelanggan *Customer Atribut* (CA) yang diinginkan, yang dihasilkan riset pasar, dan mengubahnya menjadi daftar atribut rekayasa *Engineering Attribute* (EA) yang dapat digunakan oleh para insinyur (Kotler, 2005).



Gambar 3. Matriks *Importance-Performance* (Wei et al., 2010)

2. QFD sebagai suatu proses atau mekanisme terstruktur untuk menentukan kebutuhan pelanggan dan menerjemahkan kebutuhan-kebutuhan itu ke dalam kebutuhan teknis yang relevan, di mana masing-masing area fungsional dan level organisasi dapat mengerti dan bertindak (Gazpers, 1998).
3. QFD menerjemahkan apa yang diinginkan pelanggan serta bagaimana cara organisasi menghasilkannya. Hal tersebut memungkinkan organisasi memprioritaskan kebutuhan pelanggan, mencari inovasi untuk menanggapi kebutuhan pelanggan, merubah proses agar lebih efektif. QFD adalah penerapan penting untuk proses perbaikan sehingga organisasi memungkinkan untuk memenuhi atau melebihi harapan pelanggan (Goestch and David, 2000).

Berdasarkan pengertian di atas dapat disimpulkan QFD merupakan suatu pendekatan disiplin namun fleksibel terhadap pengembangan produk. Titik awal (*Starting Point*) dari QFD adalah pelanggan serta keinginan dan kebutuhan dari pelanggan itu. Hal ini dalam QFD disebut sebagai suara dari pelanggan.

#### Hierarki *Quality Function Deployment*

Dengan menggunakan metode QFD dalam proses perancangan dan pengembangan produk, maka akan dikenal empat jenis fase atau tahapan, yaitu masing-masing adalah (Basterfield, 2007):

1. Tahap Perencanaan Produk (*House of Quality*)  
Fase ini dimulai dari persyaratan pelanggan, untuk setiap persyaratan pelanggan harus ditentukan persyaratan desain yang dibutuhkan, di mana jika memuaskan akan membawa hasil dalam pemenuhan persyaratan pelanggan.
2. Tahap Perencanaan Komponen (*Part Deployment*)  
Persyaratan desain dari matriks pertama dibawa ke matriks kedua untuk menentukan karakteristik kualitas bagian
3. Tahap Perencanaan Proses (*Proses Deployment*)  
Operasi proses kunci ditentukan oleh karakteristik kualitas bagian dari matriks sebelumnya.
4. Tahap Perencanaan Produksi (*Manufacturing/ Production Planning*)  
Persyaratan produksi ditentukan dari operasi proses kunci. Pada fase ini dihasilkan *prototype* dari peluncuran produk.

Proses QFD dimulai dari riset segmentasi pasar untuk mengetahui siapa pelanggan produk kita dan karakteristik serta kebutuhan pelanggan, kemudian mengevaluasi tingkat persaingan pasar. Hasil dari riset pasar diterjemahkan ke dalam desain produk secara teknis yang sesuai atau cocok dengan apa yang dibutuhkan pelanggan. Setelah desain produk dilanjutkan dengan desain proses, yaitu merancang bagaimana proses pembuatan produk sehingga diketahui karakteristik dari setiap bagian atau tahapan proses produksi. Kemudian ditentukan proses operasi atau produksi dan arus proses produksi. Akhirnya

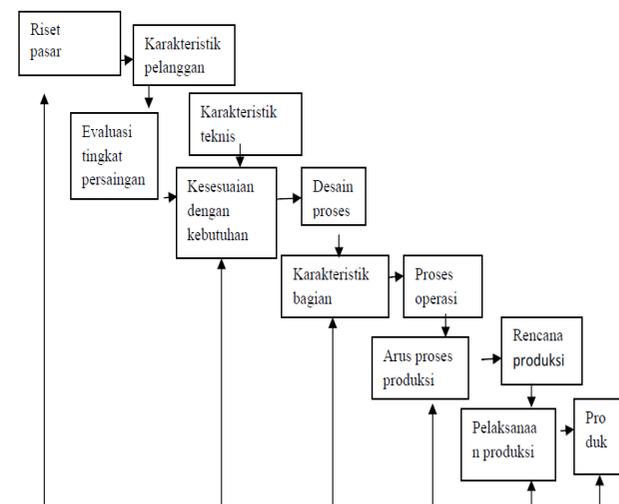
disusun rencana produksi dan pelaksanaan produksi yang menghasilkan produk sesuai dengan kebutuhan pelanggan (Nasution, 2001).

#### METODE PENELITIAN

Terdapat lima metode pengumpulan data yang digunakan dalam pengambilan data primer pada penelitian ini, yaitu

1. Studi Lapangan  
Studi lapangan dilakukan untuk mencari informasi di Galeri Indosat Tuban, yang akan diteliti serta mendapatkan informasi mengenai pelayanan jasa atau kepuasan pelanggan.
2. Studi Literatur  
Studi literature yang dilakukan adalah dengan mencari informasi dengan tujuan membantu dan membuka wawasan penulis mengenai permasalahan yang berhubungan dengan tema.
3. Observasi  
Observasi, yaitu penelitian dengan melakukan pengamatan langsung keadaan, kegiatan, cara melayani *customer*, serta melakukan pencatatan
4. Kuesioner  
Metode pengumpulan data pada penelitian ini adalah dengan metode survei. Menurut Simamora (2002), riset survei adalah pengumpulan data primer dengan melakukan tanya jawab dengan responden.
5. Wawancara  
Wawancara akan dilakukan dengan manajer cabang (*brand manager*) Galeri Indosat Tuban, untuk mendapatkan informasi dan penjelasan visi, misi, dan strategi perusahaan dalam kaitannya dengan peningkatan kualitas pelayanan Galeri Indosat Tuban khususnya termasuk juga yang dilakukan oleh manajemen Galeri Indosat Tuban.

Pada proses pengumpulan data, dilakukan



Gambar 4. Proses QFD (Nasution, 2001)

pengumpulan data dengan menggunakan *survey* terhadap proyek penelitian. *Survey* pada objek penelitian dilakukan pada sejumlah sampel yang mewakili populasi suatu objek penelitian. Teknik pengambilan sampel apabila tidak diketahui secara pasti, digunakan teknik sampling kemudahan. Umar (2000) menyatakan bahwa setiap anggota populasi tidak mempunyai peluang yang sama untuk terpilih menjadi sampel dalam teknik ini. Cara yang digunakan adalah *Convenience Sampling* atau cara dipermudah, yaitu dengan cara memilih konsumen yang dirasa paling mudah untuk memberikan informasi yang dibutuhkan. Jumlah responden dianggap sudah memenuhi syarat, yaitu jika jumlah minimal responden sebanyak 30 responden untuk penelitian deskriptif (Umar 2005). Atau untuk menentukan ukuran atau jumlah sampel digunakan rumus sebagai berikut:

$$N = \left[ \frac{(\sigma)(Z\alpha/2)}{e} \right]^2$$

Di mana:

N = jumlah sampel

$\alpha$  = *significant level*

$Z\alpha/2$  = Nilai distribusi

$\sigma$  = standart deviasi populasi

e = Maksimum penyimpangan rata-rata sampel

Mengingat jumlah populasi tidak diketahui, maka tidak dapat dihitung standar deviasi populasi sehingga digunakan standar deviasi sampel yang diperoleh dari pilot sampel untuk tingkat kepuasan pelanggan. Standar deviasi pilot sampel yang dihitung dengan bantuan *Microsoft Excel* adalah 0,32, standar deviasi populasi dalam perhitungan menentukan jumlah sampel minimum. Data pilot sampel dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Di mana untuk tingkat kepercayaan 95% dan tingkat ketelitian 5%, maka:

Harga Z = 1-  $\alpha/2$

Di mana  $\alpha = 1 - 0,95 = 0,05$

Maka Z = 1- 0,05/2 = 0,975

Dari tabel distribusi normal untuk nilai 0.975 didapat nilai Z = 1,96

Sehingga didapat nilai N:

$$N = \left( \frac{(0,32)(1,96)}{0,05} \right)^2$$

N = 156

Berdasarkan perhitungan tersebut maka di wawancara sebanyak 156 responden pada penyebaran kuesioner tahap II.

Uji validitas dilakukan untuk memberikan keyakinan bahwa alat ukur tersebut dapat digunakan pada waktu sekarang dengan kecermatan yang baik.

Rumus yang digunakan yaitu: (Riduwan: 2009)

$$r_{hitung} = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2)(n \cdot \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

Sedangkan uji reliabilitas dilakukan untuk mengetahui tingkat kepercayaan terhadap alat pengumpulan data. Pengukuran yang memiliki reliabilitas yang tinggi merupakan pengukuran yang mampu memberikan hasil ukur yang terpercaya (*reliable*).

Jika untuk mengetahui seluruh tes harus menggunakan rumus *Spearman Brown*:

$$\text{Brown } r_{11} = \frac{2 \cdot r_b}{1 + r_b}$$

Di mana:

$r_{11}$  = Koefisien reliabilitas internal seluruh item

Dalam metode pemetaan kepuasan pengguna, data akan dikelompokkan ke dalam matriks *Importance-Performance* sehingga dimensi-dimensi yang terdapat dalam kategori penting dan memerlukan kinerja yang tinggi menjadi prioritas utama dalam membuat atau menetapkan strategi perusahaan sehingga kinerja yang dilakukan dapat memenuhi harapan kepuasan penggunaannya. Setelah diketahui nilai rata-rata penilaian kepentingan dan kepuasan pelanggan untuk setiap atribut, maka dilakukan penghitungan rata-rata tingkat kepentingan dan kinerja untuk keseluruhan atribut dengan rumus:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{X}_i}{n}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{Y}_i}{n}$$

Nilai  $\bar{X}$  ini memotong tegak lurus pada sumbu horizontal, yakni sumbu yang mencerminkan kinerja atribut (X) sedangkan nilai  $\bar{Y}$  memotong tegak lurus pada sumbu vertical, yakni sumbu yang mencerminkan kepentingan atribut (Y). Setelah diperoleh bobot kinerja dan kepentingan atribut serta nilai rata-rata kinerja dan kepentingan atribut, kemudian nilai-nilai tersebut diplotkan ke dalam diagram kartesius.

Analogi yang sering digunakan untuk menggambarkan struktur *Quality Function Deployment (QFD)* adalah suatu matriks yang berbentuk rumah (*House of quality*). Urutan dalam pembuatan *House of Quality* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan Customer input. Yaitu masukan dari konsumen dan berusaha menentukan segala persyaratan yang dikehendaki pelanggan yang berhubungan dengan pelayanan jasa.
2. Menentukan matriks perencanaan. Matriks ini merupakan komponen yang digunakan untuk menterjemahkan persyaratan pelanggan ke dalam rencana-rencana untuk memenuhi atau melampaui persyaratan tersebut. Matriks ini terdiri dari:
  - Kolom tingkat kepuasan pelanggan Galeri Indosat Tuban
  - Kolom tingkat kepuasan pelanggan competitor, yang didapat dari penyebaran kuesioner pelanggan Indosat Tuban yang pernah datang ke Gerai Halo Tuban

- Kolom Planned level/nilai sasaran, yang didapat dari wawancara dengan pihak manajemen Galeri Indosat Tuban dengan mempertimbangkan nilai dari kepuasan pelanggan pihak kompetitor
  - Improvement rasio, didapatkan dengan membagi nilai tingkat kepuasan pelanggan Galeri Indosat Tuban dengan nilai sasaran
  - Bobot Absolut, didapat dari perkalian antara tingkat kepentingan pelanggan dengan faktor skala kenaikan dan poin penjualan.
  - Bobot relative, semua bobot absolut dijumlahkan, dihitung persentasenya untuk masing-masing persyaratan pelanggan.
3. Menentukan kebutuhan teknis. Diperoleh dengan menterjemahkan keinginan konsumen ke dalam bahasa teknis (*How's*) dan wawancara dengan pihak manajemen Galeri Indosat Tuban.
  4. Di bagian tengah persyaratan pelanggan dikonversikan ke dalam aspek-aspek pelayanan jasa.
  5. Di bagian bawah rumah merupakan daftar prioritas persyaratan pelayanan jasa. Matriks ini terdiri dari
    - Baris Derajat Kesulitan, yang didapat dari wawancara dengan pihak manajemen
    - Baris Nilai Absolute respon teknis, setiap kolom dari bobot respons teknis, dikalikan dengan tingkat kepentingan konsumen terhadap atribut kebutuhan kemudian dijumlahkan per kolom
    - Baris kepentingan relative, dengan cara membagi nilai kepentingan absolute dari setiap respon teknis dengan nilai total dari kepentingan absolute yang kemudian nilai tersebut dikalikan dengan 100
  6. Sedangkan di bagian atas identifikasi *trade off* yang berhubungan dengan persyaratan pelayanan jasa.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Hasil Uji Validitas

Uji validitas dilakukan melihat korelasi antara skor masing-masing pernyataan dengan skor total dari 30 responden sebagai pilot sampel.

Dari hasil pengujian untuk kelompok ekspektasi yang merupakan tingkat kepentingan terhadap pelayanan jasa Galeri Indosat Tuban, untuk butir pertanyaan 2, 6 dan 7 dinyatakan tidak valid, sedangkan butir-butir pertanyaan lainnya dinyatakan valid. Butir pertanyaan yang dinyatakan tidak valid tidak akan dicantumkan pada penyebaran kuesioner selanjutnya.

### 2. Uji Reliabilitas

Uji dilakukan terhadap 30 responden sebagai pilot sampel, dan perhitungan uji reliabilitas dilakukan dengan bantuan *Microsoft Excel*.

### 3. Kesenjangan GAP

Perhitungan kesenjangan antara tingkat kepentingan dengan tingkat kepuasan adalah dengan cara mengurangi nilai rata-rata bobot tingkat kepuasan dengan nilai rata-rata tingkat bobot kepentingan.

Dari hasil penghitungan kesenjangan (GAP) diatas, dapat dilihat bahwa kinerja seluruh atribut yang ditawarkan oleh pihak Galeri Indosat Tuban masih berada di bawah harapan pelanggan atau dengan kata lain masih belum memuaskan pelanggan. Nilai negatif terbesar atau yang berada di bawah nilai rata-rata selisih bobot menunjukkan bahwa atribut yang bersangkutan masih belum memuaskan pelanggan dan harus diprioritaskan untuk dilakukan perbaikan untuk dapat memuaskan pelanggan

### 4. Analisa IPA

Untuk mengetahui secara jelas penempatan dari 15 atribut kualitas jasa akan dikelompokkan menjadi 4 kuadran. Kuadran A terletak di sebelah kiri atas, kuadran B terletak di sebelah kanan atas, kuadran C berada di sebelah kiri bawah dan kuadran D berada di sebelah kanan bawah. Posisi masing-masing atribut pada keempat kuadran tersebut dapat dijadikan sebagai alat bantu dalam memberikan alternative strategi untuk meningkatkan kepuasan pelanggan.

Dengan menggunakan *Importance Performance Matrix* maka perusahaan dapat mengaitkan pentingnya atribut-atribut kualitas jasa tersebut dengan kenyataan yang dirasakan oleh pelanggan. Sehingga, memungkinkan pihak Galeri Indosat Tuban untuk memfokuskan usaha-usaha peningkatan pelayanan pada atribut yang perlu

**Tabel 1.** Hasil Uji Validitas

Butir Pertanyaan	Nilai $t_{hitung}$	$t_{tabel} = 1,701$	Keterangan
1	5,58	1,701	Valid
2	1,25	1,701	Tidak Valid
3	5,04	1,701	Valid
4	3,58	1,701	Valid
5	3,51	1,701	Valid
6	1,54	1,701	Tidak Valid
7	1,63	1,701	Tidak Valid
8	2,54	1,701	Valid
9	4,52	1,701	Valid
10	3,27	1,701	Valid
11	4,31	1,701	Valid
12	2,32	1,701	Valid
13	3,23	1,701	Valid
14	3,56	1,701	Valid
15	2,80	1,701	Valid
16	3,70	1,701	Valid
17	2,03	1,701	Valid
18	2,72	1,701	Valid

ditingkatkan. *Importance Performance Matrix* Galeri Indosat Tuban dapat dilihat pada gambar 6.

Dari paparan yang telah diuraikan diatas, hasil *Importance Performance Analysis* membagi tingkat kesesuaian antara tingkat kepentingan dan persepsi atau kepuasan pelanggan dalam empat kuadran. Atribut-atribut dalam kuadran A dipilih sebagai prioritas utama perbaikan karena memiliki tingkat kepentingan tinggi namun persepsi pelanggan terhadap performa atribut ini masih dianggap belum memuaskan atau rendah. Atribut-atribut tersebut nantinya akan mengisi ruang *customer need* pada *House of Quality*. Sedangkan atribut yang terletak pada kuadran C ditempatkan pada prioritas rendah.

5. QFD Metodologi

Nilai Target/Sasaran

Berdasarkan nilai sasaran setiap persyaratan pelanggan, persyaratan pelanggan yang dianggap perlu diprioritaskan perbaikannya adalah fasilitas ruang tunggu yang nyaman karena fasilitas ruang tunggu kompetitor dinilai lebih baik oleh konsumen. Selain itu system antrian yang teratur, kecepatan dan ketepatan dalam memberikan

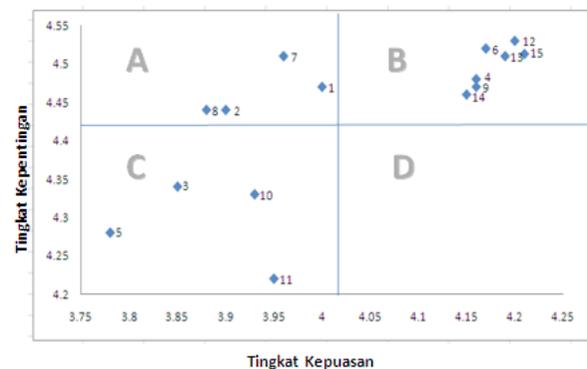
pelayanan kepada *customer* dan *Customer Service* menanggapi keluhan dengan cepat, tanggap dan ramah juga dinilai lebih rendah dari kompetitor. Persyaratan pelanggan yang ingin diperbaiki meskipun lebih baik dari adalah Ketanggapan *agent (CS)* dalam menangani masalah yang disampaikan pelanggan. Hal ini disebabkan tuntutan konsumen yang menginginkan pelayanan yang lebih baik serta kebijakan dari Manajemen Galeri Indosat Tuban untuk terus memperbaiki pelayanan.

Rasio Perbaikan

Berdasarkan *House of Quality* diketahui Galeri Indosat Tuban membutuhkan prioritas perbaikan dalam hal *Customer Service* menanggapi keluhan dengan cepat, tanggap dan ramah, sistem antrian pelanggan yang teratur, kecepatan dan ketepatan dalam memberikan pelayanan kepada *customer*, serta fasilitas ruang tunggu

Tabel 2. Hasil Uji Reliabilitas

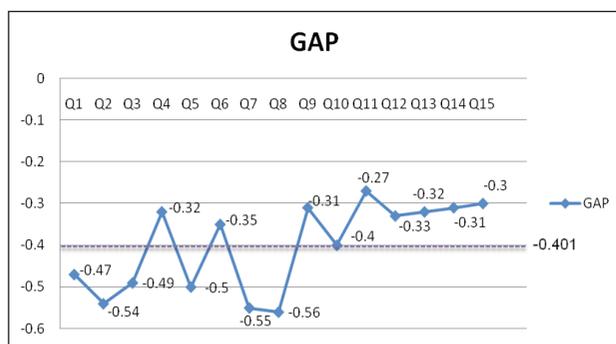
Butir Pertanyaan	Nilai $r_{II}$	$r_{tabel} = 0,374$	Keterangan
1	0,83	0,374	Reliable
2	0,90	0,374	Reliable
3	0,90	0,374	Reliable
4	0,83	0,374	Reliable
5	0,94	0,374	Reliable
6	0,83	0,374	Reliable
7	0,91	0,374	Reliable
8	0,87	0,374	Reliable
9	0,95	0,374	Reliable
10	0,91	0,374	Reliable
11	0,90	0,374	Reliable
12	0,93	0,374	Reliable
13	0,90	0,374	Reliable
14	0,96	0,374	Reliable
15	0,93	0,374	Reliable



Gambar 6. *Importance Performance Matrix* Galeri Indosat Tuban

Keterangan:

1. Fasilitas ruang tunggu yang nyaman (dekorasi interior, tata ruang dan fasilitas)
2. Sistem antrian pelanggan yang teratur
3. Kebersihan dan kerapian petugas CS (dalam berpakaian)
4. Sarana untuk mengetahui keinginan dan harapan konsumen
5. Ruang tunggu bersih dan rapi
6. Perangkat layanan yang digunakan *up to date*
7. Kecepatan dan ketepatan dalam memberikan pelayanan kepada *customer*
8. *Customer Service (CS)* menanggapi keluhan dengan cepat, tanggap dan ramah
9. Petugas menyelesaikan keluhan *customer* dengan cepat
10. Registrasi pendaftaran *customer* mudah dilakukan
11. Ketanggapan *agent (CS)* dalam menangani masalah yang disampaikan oleh *customer*
12. Galeri memiliki reputasi yang baik
13. Kerahasiaan pelanggan terjaga dengan baik
14. Keramahan agent dalam menghadapi *customer*
15. *Agent* mampu berkomunikasi dan memberi pelayanan dengan baik



Grafik 5. Grafik GAP



### Tingkat Kepentingan Absolut

Menurut Ham et.al (2012), step terakhir dalam menyusun HOQ adalah menentukan nilai kepentingan *How* dan memberikan ranking sebagai atribut dan perbaikan yang diprioritaskan yang selanjutnya akan menjadi target aktivitas pengembangan. Bobot absolut persyaratan pelanggan diperoleh dari hasil perkalian antara tingkat kepentingan pelanggan dengan faktor skala kenaikan dan poin penjualan. Kemudian semua bobot absolut dijumlahkan, dihitung persentasenya untuk masing-masing persyaratan pelanggan, lalu ditentukan prioritas yang harus ada dan atribut-atribut yang diharapkan pelanggan. Penentuan bobot absolut persyaratan pelanggan berguna sebagai petunjuk dalam fase perencanaan dan pengembangan produk dan pelayanan.

Selain perhitungan tingkat absolute persyaratan pelanggan juga dilakukan perhitungan tingkat absolute respon teknis yang dilakukan dengan cara setiap kolom dari bobot respon teknis, dari simbol-simbol hubungan yang tersedia dikalikan dengan tingkat kepentingan konsumen terhadap atribut kebutuhan kemudian dijumlahkan per kolom.

Perhitungan kepentingan relative respon teknis dilakukan dengan cara membagi nilai kepentingan absolute dari setiap respon teknis dengan nilai total dari kepentingan absolute yang kemudian nilai tersebut dikalikan dengan 100, karena tingkat kepentingan relative dinyatakan dalam bentuk persentase.

Berdasarkan analisa HOQ dapat diketahui urutan prioritas 1-4 persyaratan teknis Galeri Indosat Tuban adalah sebagai berikut:

#### 1. Training Karyawan

Pemberian training karyawan atau pembekalan sangatlah penting bagi seorang *customer service* karena sebagai *front liner* perusahaan dan juga merupakan pencitraan perusahaan dalam melakukan tugas-tugasnya *customer service* haruslah mengetahui secara umum dan luas bentuk-bentuk pelayanan jasa dan produk dengan baik. Tidak hanya melayani keluhan pelanggan tetapi *customer service* juga harus memiliki kreatifitas yang mampu meningkatkan penjualan dan juga dalam mempertahankan loyalitas pelanggan. *Customer service* haruslah memiliki mentalitas yang positif, percaya diri, komunikasi yang baik, menguasai *product knowledge* dengan benar, serta melayani dengan hati/tulus. Untuk itulah perlu dilakukan *training* secara berkala kepada setiap *customer service* baru maupun lama baik teknis maupun non-teknis. Dan training kepada *customer service* ini sebaiknya diberikan minimal 3 bulan sekali.

#### 2. Penilaian kinerja *Customer Service*

Penilaian kinerja *customer service* dianggap penting karena dengan mengevaluasi atau menilai performa/ kinerja *customer service*, manajemen dapat memonitor

performa *customer service* serta dapat mengetahui sejauh mana kelebihan dan kekurangan *agent* tersebut. Sehingga bisa memberikan *training* atau *coaching* tambahan untuk meningkatkan *skill customer service* tersebut agar Galeri Indosat dapat meningkatkan dan mempertahankan kualitas pelayanannya.

#### 3. Penerapan Teknologi Pendukung

Penerapan teknologi pendukung berada pada prioritas ketiga. Hal ini dianggap penting karena dengan kemajuan teknologi yang berkembang pesat saat ini Galeri Indosat harus mampu menerapkannya atau menyediakan media yang memudahkan pelanggan menyampaikan masukan, kritik dan saran. Sehingga dengan begitu Galeri Indosat Tuban dapat meningkatkan mutu pelayanan dan meningkatkan nilai dari produk yang digunakan oleh pelanggan agar tidak tertinggal dengan kompetitor lain. Galeri Indosat Tuban yang sebelumnya menggunakan system antrian digital dan masih menggunakan system antrian analog/manual akan lebih baik menerapkan system antrian digital, hal ini agar memudahkan pelanggan yang datang dalam menyampaikan keluhannya.

#### 4. Desain Interior yang Sesuai dan Penyediaan Fasilitas Ruang Tunggu

Perbaikan dan penyempurnaan fasilitas ruangan sangat diperlukan oleh Galeri Indosat Tuban, hal ini dikarenakan ruang tunggu di Galeri Indosat Tuban masih dinilai kurang nyaman oleh pelanggan yang datang disana. Baik dari segi tata letak ruangan, desain ruangan, fasilitas dan luas ruangan. Namun respon teknis ini tidak terlalu diprioritaskan dibanding respon teknis yang lain, dikarenakan selain karena melihat tingkat kesulitannya dalam pelaksanaannya hal ini juga disebabkan karena waktu pelayanan yang relative cepat, sehingga terkadang pelanggan kurang memerhatikannya. Namun tidak ada salahnya Galeri Indosat Tuban melakukan penerapan pada respon teknis ini dengan hal yang paling mudah dilakukan contohnya dengan menyediakan majalah atau Koran di ruang tunggu hal ini untuk meningkatkan kinerja dan menjamin kenyamanan pelanggan yang datang di Galeri Indosat Tuban agar tidak bosan saat menunggu antrian.

#### 5. Penambahan Jumlah *Customer Service*

Penambahan jumlah *customer service* diperlukan Galeri Indosat Tuban karena untuk meningkatkan kecepatan pelayanan yang harus diberikan kepada pelanggan Galeri Indosat Tuban yang datang, karena hanya terdapat 2 orang *customer service*. Namun respon teknis ini berada pada prioritas terakhir, hal ini dikarenakan tingkat kesulitan dalam perekrutan karyawan baru secara langsung oleh Galeri Indosat Tuban, karena perekrutan karyawan baru harus dilakukan oleh *HRD Regional Area* dan dengan persetujuan dari *HRD Indosat Pusat*.

## KESIMPULAN

Penyusunan Quality Function Deployment dengan mengambil dasar atribut dalam survey dan menggunakan hasil survey, analisa servqual dan IPA untuk menentukan peringkat tingkat kepentingan atribut kualitas layanan dan kemudian menuangkan hasilnya dalam House of Quality. Berdasarkan hasil analisa tingkat kepentingan pelanggan terhadap atribut kualitas layanan, diperoleh hasil empat atribut yang paling penting bagi pelanggan yaitu *Customer Service (CS)* menanggapi keluhan dengan cepat, tanggap dan ramah, kecepatan dan ketepatan dalam memberikan pelayanan kepada *customer*, system antrian pelanggan yang teratur, dan fasilitas ruang tunggu yang nyaman (dekorasi interior, tata ruang dan fasilitas). Berdasarkan hasil QFD diperoleh hasil prioritas pertama respon teknis yang harus segera ditindaklanjuti oleh Galeri Indosat Tuban adalah training karyawan secara berkala, penilaian performa kinerja *customer service*, penerapan teknologi pendukung, sedangkan prioritas berikutnya adalah penyediaan fasilitas ruang tunggu, desain interior yang sesuai dengan aspek estetika kenyamanan, penambahan jumlah *customer service*. Pelaksanaan respon teknis tersebut akan berdampak pada atribut yang dipentingkan bagi pelanggan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bouchereau, V. dan H. Rowlands. (2000). Methods and Techniques to Help Quality Function Deployment (QFD). *Journal of Benchmarking*. Vol. 7: 8.
- Bastertfield, D.H. (1999). Total Quality Management. Second Edition. New Jersey: Prentice Hall.
- Cohen, L. (1995). *QFD: How to Make QFD Work for You*. Massachusset: Addison Wesley Loncman Inc.
- Delano, G., Parnell, G.S., Smith, C., and Vance, M. (2000). Quality Function Deployment and Decision Analysis: A R&D Case Study. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 20: 591.
- Eldin, N. (2002). A Promising Planning Tool: Quality Function Deployment. *Journal of Cost Engineering*. Vol. 44: 28–37.
- Engel, J., Roger D. Blackweel dan Paul W Miniard. (1994). *Perilaku Konsumen*. Jilid 1. Edisi VI. Penerbit Binarupa Aksara.
- Feigenbaum, A. V. (1986). *Total Quality Control*. New York: Mc. Graw Hill, Inc.,
- Gasperz, V. (2001). *Total Quality Management*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Goestch, and Davis. 2000. *Quality Management: Introduction to Total Quality Management for Production Prossessing and Servise*. Third Edition. New Jersey: Prentice Hall.
- Ham, S., Park, S.H., dan Lee, M.A. (2012). How to Improve the Promotion of Korean Beef Barbecue, Bulgogi for Internationatl Customers. An Application of Quality Function Deployment. *Appetite*. Vol. 59: 324–332.
- Kotler, Philip. (2005). *Manajemen Pemasaran*. Edisi kesebelas. Jakarta: Index.
- Lampa, S. dan G. Mazur. (1996). *Bagel Sales Double at Host Marriott Using Quality Function Deployment*. The Eighth Symposium on Quality Function Deployment. International Symposium ion QFD '96. Michigan.
- Martilla, J.A. dan James, J.C. (1977). Importance Performance Analysis. *Journal of Marketing*. Vol. 41: 77–79.
- Mazur, G. (2003). Voice Of The Customer (Define): QFD to Define Value. *Annual Quality Congress Proceedings*. Vol. 57: 151–157.
- Muslim, E. dan Gunawan S. S. (2003). Quality Function Deployment (QFD) Peningkatan Kualitas Penanganan Surat PT. *Pos Indonesia. Jurnal Teknologi* 02: 100–107.
- Nasution, M. N. (2005). *Manajemen Mutu Terpadu (Total Quality Management)* Edisi kedua. Bogor: Ghalia Indonesia.
- Parasuraman, V.A. Zeithaml dan L.L.Berry (1985). A Conceptual Model of Service Quality and Its Implication for Future Research. *Journal of Marketing* (Fall): 41–50.
- Prawira, J.D., Iqbal, M., & Kurniawati, A. (2010). Kualitas Layanan Maskapai Penerbangan X Menggunakan Integrasi QFD dan Model Kano. *Jurnal Teknik Industri* 13(2), 142–150.
- Rangkuti, F. (2006). *Measuring Customer Satisfaction*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Riduwan. (2009). *Belajar mudah penelitian untuk Guru-Karyawan dan Peneliti Pemula*. Bandung: Alfabeta.
- Simamora. 2002. *Panduan Riset Perilaku Konsumen*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Tjiptono, F. (1996). *Strategi Pemasaran*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Umar, H. (2005). *Riset Pemasaran dan Perilaku Konsumen*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Walpole, R.E. (1992). *Pengantar Statistika Edisi Ke-3*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Wei, J.D., Ying, F.K. and Wen, C.C. Importance Performance Analysis: Three Factor Theory and Benchmarking. *Journal of Chung Hua University Taiwan*.
- Widodo, Imam Djati. (2003). *Perencanaan dan Pengembangan Produk*. Yogyakarta: UII Press Indonesia.
- Wulandari, S.H.E. (2011). *Strategi Peningkatan Kualitas Layanan Pendidikan Menggunakan Integrasi Metode Fuzzy Servqual dan QFD (Studi kasus: Program Studi SI Sistem Informasi STIKOM Surabaya) [Thesis]*. Surabaya: Program Studi Magister Manajemen Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh November.
- Zairi, M. dan M.A. Youssef. (1995). Quality Function Deployment. *The International Journal of Quality & Reliability Management*. Vol. 12: 9–23.
- Zeithaml, Valerie A. & Mary Jo Bitner. (2000). *Service Marketing Integrating Customer Focus Across the Firm*. New Jersey: Prentice Hall International, Inc.

# Efek Patologi Merkuri terhadap Densitas *Spikula Holothuroidea* (Echinodermata) di Kawasan Bekas Penggelondongan Emas Lampon, Kabupaten Banyuwangi

Mercury Pathology Effect to Spicules Density of Holothuroidea (Echinodermata) at Ceased Lampon Traditional Gold Mining, Banyuwangi District

Susintowati\*

\* FKIP Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi  
E-mail: susintowati@yahoo.com

## ABSTRAK

Walaupun aktivitas penggelondongan emas telah berhenti di Lampon, penelusuran dampak pencemaran merkuri terhadap biota perairan dapat dilakukan. *Holothuroidea* dapat dijadikan salah satu bioindikator pencemar merkuri. *Holothuroidea* berperan sebagai detritivor atau organisme pembersih pantai, sehingga sangat penting memantau keberadaannya di Lampon. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui efek patologi merkuri terhadap densitas spikula *Holothuroidea*. Terdapat sekitar 12 spesies *Holothuroidea* di zona intertidal Lampon. *Holothuria leucospilota* dipilih sebagai bioindikator akumulasi merkuri karena melimpah di Lampon. Bioakumulasi merkuri dalam jaringan tubuh *Holothuria leucospilota* terdeteksi menggunakan Mercury Analyzer dengan metode SNI 06-6992.2-2004 (dengan modifikasi). Perhitungan densitas spikula dikaji setelah maserasi dengan sodium hipoklorit dan dihitung jumlah spikula per cm<sup>2</sup> integumen sampel. Bioakumulasi merkuri tertinggi dalam tubuh *Holothuria leucospilota* di Lampon adalah 47,83 ppb, sedangkan yang terendah 0,03 ppb. Parameter lingkungan di kedua lokasi penelitian tergolong dalam rentang baku mutu yang normal. Densitas spikula *Holothuria leucospilota* sampel Lampon cenderung rendah dibanding sampel kontrol dari Taman Nasional Meru Betiri. Anomali morfologi spikula pada sampel *Holothuria leucospilota* Lampon perlu ditelusuri lebih lanjut.

**Kata kunci:** merkuri, spikula, densitas, *Holothuroidea*

## ABSTRACT

The activity of traditional gold mining at Lampon was ceased three years ago. There are still many effects of mercury to organisms in this region. *Holothuroidea* can be use as bioindicator. It is very necessary to know how big the effect of mercury while the activity of waste tailling have been stoped. The aims of this research is to proof the effect of mercury to spicules density of *Holothuroidea* in this place. We were used SNI 06-6992.2-2004 method to search mercury accumulation. Spicules density were counted after masseration with sodium hypochlorite and density of spicules in cm<sup>2</sup> of the integument. The results shows, there are 12 species of *Holothuroidea* at Lampon intertidal zone. Mercury bioaccumulation still detected in *Holothuria leucospilota*. The mercury bioaccumulation in *Holothuria leucospilota* reach 47,83 ppb, but another sample detected in low concentration (0,03 ppb). Environment factors still be in normal value. The spicules density of antero-dorsal integument of *Holothuria leucospilota* were low value, if it used One Way Anava to compared with the same species in Meru Betiri National Park. The anomali of morphology of spicules needs some proof in another research.

**Key words:** mercury, spicules, density, *Holothuroidea*

## PENDAHULUAN

Pantai Lampon merupakan salah satu pantai di Banyuwangi yang menjadi kawasan pembuangan limbah penggelondongan emas tradisional. Aktivitas penggelondongan telah berhenti sejak 2011, namun efek cemar merkuri masih mempengaruhi biota yang ada di kawasan ini. Bioakumulasi merkuri dalam tubuh Gastropoda yaitu *Nerita argus* hingga 3,03 ppm, sedangkan pada *Terebralia sulcata* hingga 3,10 ppm. Hepatopancreas *Nerita argus* di kawasan ini telah mengalami atrofi sangat parah (Susintowati, 2012). Walaupun aktivitas penggelondongan telah berhenti 1 tahun belakangan, namun rekam jejak kondisi lingkungan

tetap perlu dikaji untuk mengetahui proses pemulihan di masa yang akan datang.

Merkuri merupakan logam berat yang bersifat toksik dan karsinogenik, hal ini karena merkuri bersifat *non-degradable*, akumulasi dalam tubuh dapat menimbulkan efek negatif yang cukup mengerikan. Keberadaan merkuri secara alami dalam bentuk *cinnabar* (HgS) dan kandungan merkuri di perairan laut berkisar 0,15 µg/l. Standar baku mutu yang diperkenankan di Indonesia 0,001 mg/l (Kep. MenLH No.51 Tahun 2004). Jika introduksi merkuri ke dalam lingkungan melebihi baku mutu, akan menimbulkan dampak yang merugikan. Beberapa menyebutkan efek toksik dari merkuri, di antaranya adalah: kerusakan mitokondria, gangguan

fungsi saraf, disrupsi kelenjar endokrin kanker, bahkan kehilangan memori (Eisler, 1987; Setiabudi, 2005; Darmono, 2008; Palar, 2008; Widowati et al. 2008; Anonimus, 2009; Neustadt dan Pieczenik, 2011). Hasil penelusuran akumulasi merkuri di dalam sedimen muara Lampon antara 0,45 ppm hingga 634,19 ppm (Susintowati, 2012).

Holothuroidea (*sea cucumber*) merupakan salah satu bentuk yang sering digunakan sebagai bioindikator lingkungan. Berdasarkan pemahaman di atas, perlu ada survei dan pengkajian lebih cermat terhadap bentuk khususnya anggota Holothuroidea di pantai Lampon. Bargagli et al. (1998) menyebutkan Holothuroidea di Terra Nova Bay Antarctica dapat mengakumulasi merkuri antara 0,08-0,38  $\mu\text{g g}^{-1}\text{dry wt}$ . Denton et al. (2008) juga menyebutkan bahwa sedikitnya ada 6 spesies Holothuroidea di Tanapag Lagoon Pulau Mariana, mengakumulasi merkuri dalam jaringan tubuhnya.

Belum banyak sorotan terhadap efek pencemar merkuri terhadap densitas spikula pada Holothuroidea di kawasan yang tercemar merkuri. Manisseri dan Menon (2006) membuktikan, bahwa merkuri dapat menyebabkan kerusakan retikulum endoplasma. Retikulum endoplasma banyak mengandung ribosom. Ribosom merupakan organela yang membentuk protein sel. Perubahan profil protein dapat menunjukkan bahwa terjadi perubahan pembentukan protein sel oleh ribosom. Perlu ditinjau bagaimana efek cemar merkuri pada profil protein Holothuroidea yang ada di kawasan bekas penggelondongan emas Lampon.

Spikula sering pula disebut dengan *ossicle*. Spikula merupakan endoskeleton bagi Holothuroidea. Karakter spikula digunakan untuk mengidentifikasi spesies. Densitas spikula dalam jaringan Holothuroidea adalah spesifik (Pawson dan Pawson, 2008). Perlu ditelusuri bagaimana densitas spikula Holothuroidea di kawasan bekas penggelondongan emas Lampon, sebagai tolak ukur efek cemar merkuri di kawasan ini. Tujuan penelitian ini, mengetahui efek patologi merkuri terhadap densitas spikula Holothuroidea di kawasan bekas penggelondongan emas Lampon.

## METODE PENELITIAN

### Waktu & Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Juni 2013 hingga Januari 2014. Sampling dilakukan saat *low water spring* di *rocky shore* Lampon. Lokasi penelitian di kawasan pertambangan emas tradisional muara Lampon. Secara administratif Lampon terletak di Kecamatan Pesanggaran Kabupaten Banyuwangi Jawa Timur. Letak Geografis Lampon: 8°37'05.39"S 144°05'11.46"E. Curah hujan: 1000–2500 mm/tahun.

### Cara Pengambilan Data

1. Data ekologis/Parameter Lingkungan  
Sampling data ekologis berdasar metode *purposive random sampling*. Garis transek primer sepanjang pesisir pantai. Transek sekunder ditentukan tegak lurus terhadap arah laut dari transek primer. Pada tiap pantai ditentukan 3 garis transek sekunder, masing-masing berjarak 250 meter. Pada tiap garis transek sekunder diambil 10 sampel. Pengukuran *tidal range* berdasarkan pasut tertinggi dan terendah saat purnama penuh. *Dissolved Oxygen* (DO) dalam air dan di udara menggunakan DO meter dengan cara mencelupkan prob piranti ke dalam air sedalam  $\pm 20$  cm dari permukaan, demikian juga untuk pengukuran suhu air, pH air. Termometer dan pH-meter dimasukkan dalam kolom air sedalam  $\pm 20$  cm dari permukaan, hasil pengukuran diperoleh/dibaca saat perangkat masih di dalam kolom air. Kadar garam (salinitas) diukur menggunakan *hand-refractometer*. Masing-masing data diulang 5 kali secara *random* di tiap site, untuk akurasi pengukuran. Data akhir parameter lingkungan merupakan rata-rata dari 5 kali pengukuran tersebut.
2. Bioakumulasi merkuri dalam tubuh Holothuroidea  
Bioakumulasi merkuri dalam tubuh Holothuroidea dipreparasi menggunakan prosedur SNI 06-6992.2-2004 (dengan modifikasi).
3. Densitas spikula  
Sampel tiap-tiap spesies diambil 5 spesimen untuk identifikasi dan analisis densitas spikula. Sampel spesimen dibawa dari lokasi dan dipreparasi di laboratorium. Sebelum preparasi, spesimen dibius dengan  $\text{MgCl}_2$  73%. Setelah mati lemas diawetkan sementara dalam alkohol 70%. Spikula diambil dari bagian medio-dorsal tubuh Holothuroidea dengan cara: memotong jaringan seluas 1x1 cm. Penghitungan densitas spikula dilakukan setelah dimaserasi dengan menggunakan sodium hipoklorit hingga didapatkan sampel spikula yang telah lepas dari jaringan otot. Pengamatan morfologi dan jumlah spikula menggunakan *stereomicroscope* dan mikroskop binokuler dengan perbesaran 100x.

$$\text{Hg Total} = \frac{(\text{Hg Baca} - \text{Blanko}) \times \text{Volume akhir} \times \text{Fp}}{\text{Berat Sampel}}$$

Fp = faktor pengenceran sehingga masuk kisaran baca Mercury-Analyzer (metode semi log) SNI 06-6992.2-2004

4. Analisis Data  
Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif dan kualitatif. Analisis data dan interpretasi data ekologis, secara deskriptif kuantitatif (Odum, 1993). Data sampel densitas spikula tiap spesimen menggunakan analisis regresi korelasi ANAVA.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Kondisi Ekologis di Lampon

Eksistensi organisme di suatu lingkungan salah satunya ditentukan oleh kondisi lingkungan. Holothuroidea mempunyai peran yang sangat besar dalam menjaga kestabilan ekosisten di zona intertidal. Pada tahun 2011-2012 penelusuran akumulasi merkuri dalam timbunan tailing sisa penggelondongan di kawasan ini cukup tinggi (Susintowati, 2012). Kawasan Lampon yang merupakan bekas area penggelondongan emas, diduga masih tercemar oleh limbah merkuri penggelondongan yang tertimbun di sekitar pembuangan limbah. Keanekaragaman Holothuroidea di Lampon menunjukkan bahwa kawasan ini masih dapat menunjang eksistensi mereka di habitatnya.

**Tabel 1.** Data parameter lingkungan di Lampon dan Pantai Batu TNMB Koordinat Lokasi: (S 08°37'18.6" E114°05'19.0") Waktu: *low spring tide* 14.00-16.00 WIB (25 Juli-23 Agustus 2013)

Parameter	Rata-rata		Satuan
	Lampon	TNMB	
DO udara	5,36 ± 0,055	5,56 ± 0,261	ml/g
DO air	5,84 ± 0,182	6,26 ± 0,904	ml/g
Suhu udara	32 ± 0,158	35,36 ± 1,119	C°
Suhu air	28,54 ± 0,288	26,6 ± 0,548	C°
Salinitas	34,6 ± 0,894	33,4 ± 2,702	‰
pH air	9,1 ± 0,071	9,06 ± 0,089	
Suhu sedimen (surut)	27,4 ± 1,517	29,4 ± 0,894	C°
<i>Tidal Range</i> (muara)	109,8 ± 13,35	112,8 ± 10,96	cm

Spesies yang tampak mempunyai jumlah cukup banyak di Lampon adalah *Holothuria leucospilota*. Spesies ini dipilih menjadi bioindikator bioakumulasi merkuri di kawasan ini. Pada zona intertidal Pantai Batu (*Stone Shore*) Taman Nasional Meru Betiri (zona kontrol) *Holothuria leucospilota* juga sangat mudah dijumpai. Perbandingan bioakumulasi merkuri antara sampel *Holothuria leucospilota* Lampon dan Pantai Batu TNMB diduga merupakan bukti, pencemar merkuri belum tereliminasi secara cepat dari kawasan bekas penggelondongan emas Lampon (Tabel 2.).

Hasil pengukuran parameter lingkungan (Tabel 1.) kondisi lingkungan di Lampon dapat dikatakan memenuhi baku mutu lingkungan perairan laut di Indonesia. Walaupun terdapat selisih hasil pengukuran, kemungkinan perubahan mengikuti fluktuasi harian sangat mungkin terjadi, baik di Lampon maupun di Pantai Batu Taman Nasional Meru Betiri. Menurut Kep. MenLH Nomor 51 Tahun 2004, menyatakan bahwa standar baku mutu air laut beberapa parameter lingkungan terukur berkisar: Suhu 28°-32°C, pH 7-8,5, Oksigen terlarut (DO) >5, salinitas s/d 34‰. Nilai tersebut dalam kisaran alami, artinya kondisi normal suatu lingkungan, bervariasi setiap saat (siang, malam, musim) dengan catatan bahwa, diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan 10% konsentrasi rata-rata musiman. Perubahan suhu yang diperoleh sampai dengan <2°C dari suhu alami, diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan 0,2 satuan pH, diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <5% salinitas rata-rata maksimum.

Perubahan kondisi lingkungan antara musim hujan dan musim panas tidak menyolok. Kisaran fluktuasi



**Gambar 1.** Spesies-spesies Holothuroidea di Lampon dan Pantai Batu TNMB, *Leucosynapta* sp (kiri atas); *Holothuria leucospilota* (kiri bawah); *Holothuria cinarescens* (kanan atas) dan *Cucumaria* sp 1 (kanan bawah).

perubahan parameter lingkungan masih dalam batas normal. Walaupun saat musim panas suhu udara lebih tinggi ( $\pm 2-3$  °C) dibandingkan pada musim hujan, kondisi ini masih dapat ditolerir bioindikator (*Holothuroidea*) di lokasi pengamatan.

Scheiner dan Willig (2008) mengulas prinsip dasar pemahaman ekologi komunitas, dinyatakan ada 7 prinsip yaitu: heterogenitas distribusi organisme; interaksi organisme, ketergantungan (*contingency*); heterogenitas faktor lingkungan; sumber daya yang terbatas dan heterogen; kematian organisme serta proses evolusi. Prinsip-prinsip ini berkembang dan menjadi landasan berfikir tentang, distribusi, abundansi, dominansi dan kehadiran populasi dalam rentang ruang dan waktu. Densitas atau kerapatan populasi merupakan jumlah per luas area. Banyak jenis yang mempunyai fluktuasi jumlah per tahun, namun belum banyak diketahui sebab dan arti dari kesamaan densitas pada tahun yang sama. Fluktuasi densitas lebih sering terjadi, bukan berarti menghilang dan punah dalam habitat jika berdensitas sangat rendah. Eksistensi individu organisme di alam sangat terkait dengan lingkungan fisik (abiotik) dan dengan biota yang lain (Brewer, 1993).

## 2. Bioakumulasi Merkuri dalam tubuh *Holothuria leucospilota*

Walaupun aktivitas penggelondongan emas dan pembuangan limbah sudah berhenti cukup lama, namun bioakumulasi merkuri dalam tubuh biota di kawasan ini masih terdeteksi. *Holothuria leucospilota* dari Lampon yang dianalisis menggunakan prosedur SNI 06-6992.2-2004 di LPPT UGM Yogyakarta masih terdeteksi mengandung merkuri. Satu dari tiga sampel yang dianalisis menunjukkan nilai yang melebihi baku mutu (Tabel 3).

**Tabel 2.** Bioakumulasi merkuri dalam sampel *Holothuria leucospilota*

No.	Kode	Lokasi Pengambilan	Hasil (ppb)	Rata-rata (ppb)
1	Lm 1	LAMPON	0,03	17,44 $\pm$ 26,41
2	Lm 2		4,45	
3	Lm 3		47,83	
4	MB1	Pantai Batu	< 0,05	*TT
5	MB2	TNMB	< 0,05	*TT
6	MB3		< 0,05	*TT

Keterangan: LOD = 0,05 ppb; \*TT = tidak terdeteksi

Keterangan: Mercury analyzer di LPPT UGM mempunyai rentang deteksi paling rendah 0,05 ppb. Hasil analisis sampel menunjukkan merkuri tidak terdeteksi oleh Mercury analyzer karena kandungan merkuri lebih rendah dari 0,05 ppb

Berdasar hasil analisis biokumulasi merkuri tersebut, maka terbukti bahwa biota perairan khususnya *Holothuria leucospilota* di kawasan Lampon masih mengandung merkuri. Eisler (1987) menyatakan bahwa sensitivitas letal oleh merkuri terhadap organisme akuatik sebesar 0,1–2,0 ppb. Sedangkan standar baku mutu merkuri dalam Badan Standarisasi Nasional (SNI 7387:2009) belum ditentukan jelas, namun mengacu beberapa negara lain misalnya Jepang dan Canada, baku mutu maksimal sebesar 0,3 ppm. Nilai baku mutu ini cukup tinggi jika dikaji dari sensitivitas letal yang dituliskan oleh Eisler. *Holothuria leucospilota* di Lampon diduga telah terpapar merkuri cukup lama dan sensitivitas letal dapat diindikasikan dengan kelainan-kelainan dalam tubuhnya. Densitas spikula yang menjadi sorotan dalam penelitian ini kemungkinan dapat menjelaskan pengaruh merkuri pada hewan ini. Spesimen yang diambil dari zona intertidal Pantai Batu TNMB tidak terdeteksi mengandung merkuri, sehingga dapat menjadi gambaran bahwa jika suatu tempat tidak mengandung sisa-sisa limbah merkuri maka biota perairan tidak akan mengakumulasi merkuri dalam tubuhnya. Pantai Batu TNMB sangat jauh dari kegiatan pertambangan dan aktivitas antropogenik lain. Keadaan lingkungan yang demikian menandakan bahwa kondisi sehat (bebas pencemar merkuri) *Holothuroidea* di lokasi ini dapat menjadi acuan pembandingan. Efek patologi merkuri diduga telah mempengaruhi *Holothuroidea* di Lampon.

## 3. Densitas Spikula

Waktu tinggal merkuri dalam perairan dan sedimen perairan laut yang sangat lama, diduga menyebabkan bioakumulasi merkuri dalam *Holothuria leucospilota* masih dapat terdeteksi hingga sekarang. Banyak simtom yang muncul akibat keracunan merkuri hingga kerusakan DNA (Neustad dan Pieczenik, 2011), memberikan gambaran bahwa kerusakan DNA mengindikasikan terjadinya kelainan pada struktur protein sel.

Spikula merupakan kerangka kapur yang tertanam di dalam integumen beberapa *Holothuroidea*. Karakter spikula dapat digunakan untuk mencirikan jenis (Martoyo et al. 2006; Purcell et al. 2012). Jika merkuri dapat mempengaruhi dan merusak DNA maka spikula dalam tubuh *Holothuroidea* juga akan mengalami kerusakan, karena pembentukan spikula juga merupakan kinerja DNA.

Berdasar hasil pengamatan morfologi spikula yang ada di dalam integumen *Holothuria leucospilota* Lampon belum ada kelainan yang berarti pada morfologi spikula. Tipe spikula di bagian integumen antero-dorsal

**Tabel 3.** Hasil analisis densitas spikula *Holothuria leucospilota* menggunakan Anava satu jalur

Sumber	Jk	db	Rk	F Empirik	F Teoritik	Interpretasi
Inter Group	119286	1	119286	19,5	6,61 (1%)	Signifikan
Inner Group	24430	4	6107,5		15,26 (5%)	Signifikan
Total	143716	5				



**Gambar 2.** Spikula yang berdempet pada sampel *Holothuria leucospilota* dari Lampon

*Holothuria leucospilota* secara keseluruhan bertipe rods. Saat pengamatan didapati spikula yang berdempet (Gambar 2.). Spikula yang berdempet kemungkinan besar adalah karena tidak sempurnanya saat pembedakan. Kelainan bentuk spikula ini perlu pembuktian lebih lanjut.

Densitas spikula yang diambil dari bagian antero-dorsal integumen *Holothuria leucospilota* cukup banyak. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis densitas spikula menggunakan Anava satu jalur, terdapat perbedaan signifikan densitas spikula sampel Lampon dan TNMB. Spikula merupakan struktur penyokong bagi teripang. Sehingga jika densitasnya rendah dapat diartikan penyokong tubuh hewan ini berkurang, akibatnya integumen tidak normal. Rata-rata jumlah spikula pada sampel *Holothuria leucospilota* dari Lampon  $10.593 \pm 3531$  buah/cm<sup>2</sup>, sedangkan sampel TNMB  $11439 \pm 3813$ /cm<sup>2</sup>. Jumlah ini signifikan berbeda nyata setelah dianalisis menggunakan Anava satu jalur (Tabel 3.) Analisis menggunakan  $db_a = 1$  dan  $db_d = 4$  didapatkan harga F teoritik dalam tabel nilai-nilai F sebesar 19,5 lebih besar F teoritik baik pada taraf 1% sebesar 6,61 maupun 5% sebesar 15,26. Dengan demikian dapat diinterpretasikan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada densitas spikula yang terdapat di Lampon dan TNMB.

Perbedaan ini menandakan bahwa merkuri di Lampon memberi efek patologis pada densitas spikula dalam integumen *Holothuria leucospilota*. Efek patologis merkuri tidak hanya densitas spikula *Holothuroidea* namun juga diduga mempengaruhi morfologi spikula walaupun masih perlu pembuktian lebih lanjut.

## KESIMPULAN

Bioakumulasi merkuri dalam *Holothuria leucospilota* hingga 47,83 ppb, akumulasi merkuri dapat mengarah pada sensitivitas letal pada hewan ini. Terdapat signifikansi rendahnya densitas spikula pada antero-dorsal integumen *Holothuria leucospilota* Lampon

setelah dianalisis menggunakan Anava satu jalur. Anomali morfologi spikula dijumpai pada karakter spikula *Holothuria leucospilota*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya ucapkan kepada Dirjen Dikti yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun anggaran 2013. Terima kasih pula kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi, LPPT Unit I Universitas Gadjah Mada, Balai Taman Nasional Meru Betiri Jawa Timur dan semua pihak (kolega, asisten dan mahasiswa) yang telah membantu penelitian ini hingga selesai.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Anonimus. 2009. *Batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan*. SNI 7387:2009. ICS 67.220.20. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
2. Bargagli, R., Monaci, F., Sanchez-Hernandez, J.C., dan Cateni, D. 1998. Biomagnification of mercury in an Antarctic marine coastal food web. *Marine Ecology Progress Series*. Vol.169: 65-76.
3. Brewer, R. 1993. *The Science of Ecology*. Second Edition. Saunders College Pub. Tokyo.
4. Darmono. 2008. *Lingkungan hidup dan pencemaran, hubungannya dengan toksikologi senyawa logam*. UI-Press. Jakarta.
5. Denton, G.R.W., Bearden, B.G., Houk, P., Starmer, J.A., dan Wood, H.R. 2008. *Heavy metals in biotic representatives from the intertidal zone and nearshore waters of Tanapag lagppn, Spain, commonwealth of Northern Mariana Islands (CNMI)*. Technical Report No. 123. Water and Environmental Research Institute of the Western Pacific University of Guam.
6. Eisler, R. 1987. Mercury hazards to fish, Wildlife and Invertebrates. A synoptic review. *Biological Report*: 85(1:10).
7. Manisseri, M.K. and Menon, N.R. 2006. Ultrastructural aberration in the hepatopancreas of *Metapenaeus dobsoni* (Miers) Exposed to Mercury. *J. Mar. Biol. Ass. India*. 48 (1): 89-94.
8. Martoyo, J.,N. Aji dan T. Winanto. 2006. *Budi daya Teripang*. Swadaya, Jakarta.
9. Neustadt, J. dan Pieczenik, S. 2011. Heavy-metal Toxicity With Emphasis on Mercury. *Integrative Medicine*. Vol.10.No.5: 45-50.
10. Odum, E.P. 1993. *Fundamentals of ecology*. Third Edition. Saunders College Pub. Diterjemahkan oleh: Samingan, T. & Srigandono, B. UGM Press. Yogyakarta.
11. Palar, H. 2008. *Pencemaran dan toksikologi logam berat*. Penerbit Rineka Cipta. Jakarta.
12. Pawson, D.L., dan Pawson, D.J. 2008. *An illustration key to the sea cucumbers of the South Atlantic Bight*. Southeastern Regional Taxonomic Center. Smithsonian Institution. Washington DC.
13. Purcell W. S. 2012. *Commercially Important Sea Cucumber Of The World*. Southern Cross University. NSW Australia.
14. Scheiner, S.M. and Willig, M.R. 2008. A General Theory of Ecology. *Theor.Ecol.* 1:21-28. DOI 10.1007/s12080-007-0002-0.
15. Setiabudi, B.T. 2005. *Penyebaran merkuri akibat usaha pertambangan emas di daerah Sangon Kabupaten Kulon Progo DI Yogyakarta*. Kolokium Hasil Lapangan-DIM:1-17.
16. Susintowati. 2012. *Bioakumulasi merkuri dan struktur komunitas Gastropoda di kawasan bekas penggelandongan emas muara sungai Lampon, Banyuwangi*. Naskah Tesis. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
17. Widowati, W.,Sastiono, A., dan Jusuf, R.R. 2008. *Efek toksik logam. Pencegahan dan penanggulangan pencemaran*. Penerbit Andi. Yogyakarta.

# Animasi Dining Philosophers Problem untuk Mencegah Deadlock dengan Metode Semaphore

## Animation Dining Philosophers Problem for Preventing Deadlock with Semaphores Methods

Nailil Uzlifah dan Mimin F. Rohmah (miminfr@gmail.com)

Teknik Informatika, Universitas Islam Majapahit

Jl. Raya Jabon Km. 07 Mojokerto

### ABSTRAK

Pada tahun 1967, Dijkstra mengajukan suatu konsep memakai suatu variable integer untuk menghitung banyaknya proses yang sedang aktif atau yang sedang tidak aktif. Tipe dari variable ini dinamakan semaphore. kebanyakan semaphore juga digunakan untuk sinkronisasi dalam komunikasi antar device perangkat. Pada penelitian ini semaphore digunakan untuk menyelesaikan masalah klasik sinkronisasi dining philosophers. Dining philosophers itu sendiri adalah situasi di mana 5 philosopher duduk di meja makan untuk makan spaghetti, setiap philosopher diberi satu piring spaghetti dan diberi satu sumpit, untuk memakan spaghetti tersebut dibutuhkan dua sumpit untuk menyelesaikan masalah ini maka variable semaphore ini diterapkan pada setiap sumpit agar sumpit bisa di share ke-philosopher yang lainnya. Jika 5 philosopher sedang lapar dan memegang sumpit ditangan kiri, maka akan terjadi deadlock. Pada penelitian ini dilakukan pengujian untuk mengetahui situasi yang jarang terjadi deadlock dan pencegahan deadlock. Dari percobaan tanpa pencegahan deadlock dengan waktu kenyang menjadi lapar masing-masing filsuf secara berurutan 2, 4, 6, 8 dan 10 serta waktu lapar menjadi mati 2, 4, 6, 8, dan 10 dilakukan pengujian beberapa kali ke sistem dengan mengganti masa hidup filsuf. Dari hasil pengujian didapatkan masa hidup filsuf yang diujikan ke sistem yang tidak terjadi deadlock selama waktu percobaan 100 detik adalah masa hidup masing-masing filsuf secara berurutan 2,2,4,4,16. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tidak cepat terjadi deadlock jika salah satu filsuf yang memiliki waktu kenyang menjadi lapar besar berada dalam kondisi kenyang. Kondisi deadlock juga dapat dicegah dengan beberapa solusi, tetapi apabila deadlock telah terjadi, maka tidak akan dapat diselesaikan karena semua proses (dalam hal ini, filsuf) akan saling menunggu sebuah kondisi yang tidak akan pernah terjadi.

**Kata kunci:** Philosophers, Dining Philosophers, Semaphore, Deadlock

### ABSTRACT

In the year 1967, Dijkstra raise a concept of an integer variable to count to the number of process which is active or which is not is active. Type of this variable is named by semaphore. semaphore is also used for synchronization in communications between device. of this journal semaphore used to finish the problem of dining philosopher synchronization. Dining philosopher it self is situation where 5 philosopher sit in dining table to eat spaghetti, each every philosopher given one spaghetti saucer and given one chopstick, to eat the the spaghetti required by two chopstick to finish this problem hence this semaphore variable is applied in each chopstick so that chopstick can kepilosopher share which its. If 5 philosophers hungry and left hand holding chopsticks, there will be a deadlock. In this research to determine the unlikely event that a deadlock and deadlock prevention. Of the experiment without deadlock prevention with a full time hungry each philosopher sequentially 2, 4, 6, 8 and 10 as well as when they're hungry to die 2, 4, 6, 8, and 10 tested several times to replace the system with a lifetime philosopher. From the test results obtained life times philosopher who tested into a system that does not occur during the time trial deadlock 100 seconds is the life span of each philosopher in sequence 2,2,4,4,16. This shows that the system is not fast deadlock if one philosopher who has satisfied a hungry big time in a state of satiety. Deadlock condition can also be prevented with a few solutions, but if the deadlock has occurred, then it will not be resolved because all processes (in this case, philosophers) will each wait for a condition that will never happen.

**Key words:** Philosophers, Dining Philosophers, Semaphore, Deadlock.

### PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi dan perkembangannya yang demikian pesatnya telah tersebar ke seluruh aspek kehidupan terutama dalam bidang informasi dengan ditandai oleh kecepatan dalam proses pengolahan basis data, kemajuan teknologi dewasa ini merupakan kemajuan teknologi yang sangat penting dalam menunjang perkembangan disegala bidang, informasi yang merupakan suatu proses pengolahan basis data

memberikan bentuk yang lebih dari suatu kejadian atau peristiwa, pengambilan keputusan tergantung dari informasi yang dihasilkannya, sering kali dalam pengaksesan basis data terjadi kesalahan atau ketidak beraturan dalam pelaksanaannya, dan salah satu cara untuk mengatasinya dengan memanfaatkan komputer sebagai alat atau sarana untuk mengakses basis data.

Sistem operasi merupakan suatu program yang bertindak sebagai *interface* antara *user* dan sistem komputer. Sistem operasi ini harus mampu melakukan

pengontrolan penggunaan *resource*. Dalam proses perancangan sistem operasi, terdapat suatu landasan umum yang disebut dengan kongkurensi. Proses-proses disebut kongkuren jika proses-proses (lebih dari satu proses) berada pada saat yang sama. Keadaan ini disebut dengan *multitasking* dari sistem operasi. Proses-proses kongkuren dapat sepenuhnya tak bergantung dengan lainnya tapi dapat juga saling berinteraksi. Proses-proses yang berinteraksi memerlukan sinkronisasi agar terkendali dengan baik. Namun, pada proses-proses kongkuren yang berinteraksi, terdapat beberapa masalah yang harus diselesaikan seperti *deadlock*, sinkronisasi dan sebagainya. Salah satu masalah klasik yang dapat menggambarkan masalah tersebut adalah *Dining Philosophers Problem* (Ramdani, D.Lesmiadi, dkk, 2004).

### Sistem Operasi dan Konkurensi

Sistem operasi adalah bagian yang sangat penting bagi semua sistem komputer. Secara umum, sistem komputer terbagi atas *hardware*, sistem operasi, program aplikasi, dan *user*. *Hardware* terdiri atas CPU, memori dan I/O *device* yang merupakan *resource-resource* dasar. Program aplikasi berisi *compiler*, basis data, *games* dan program-program bisnis, yang merupakan suatu cara atau alat di mana *resource-resource* akan diakses untuk menyelesaikan masalah *user*:

Kongkurensi merupakan landasan umum perancangan sistem operasi. Proses-proses disebut kongkuren jika proses-proses berada pada saat yang sama. Pada proses-proses kongkuren yang berinteraksi mempunyai beberapa masalah yang harus diselesaikan (Hariyanto, Bambang, 2009):

1. *Mutual Exclusion*
2. Sinkronisasi
3. *Deadlock*
4. *Starvation*

### Prinsip-prinsip Konkurensi

Kongkurensi meliputi hal-hal sbb:

1. Alokasi waktu pemroses untuk proses-proses.
2. Pemakaian bersama dan persaingan untuk mendapatkan sumber daya.
3. Komunikasi antarproses.
4. Sinkronisasi aktivitas banyak proses.

Kongkurensi dapat muncul pada konteks berbeda, antara lain:

1. Banyak aplikasi (*multiple application*).  
Multiprogramming memungkinkan banyak proses sekaligus dijalankan. Proses-proses dapat berasal dari aplikasi-aplikasi berbeda. Pada sistem multiprogramming bisa terdapat banyak aplikasi sekaligus yang dijalankan di system komputer.
2. Aplikasi terstruktur.  
Perluasan prinsip perancangan modular dan pemrograman terstruktur adalah suatu aplikasi dapat

secara efektif diimplementasikan sebagai sekumpulan proses. Dengan sekumpulan proses, maka tiap proses menyediakan satu layanan spesifik tertentu.

3. Struktur sistem operasi.  
Keunggulan strukturisasi dapat juga diterapkan ke pemrograman sistem. Beberapa sistem operasi aktual yang dipasarkan dan yang sedang dalam riset telah diimplementasikan sebagai sekumpulan proses. Sistem operasi bermodelkan client/server menggunakan pendekatan ini.
4. Untuk Strukturisasi Satu Proses.  
Saat ini untuk peningkatan kinerja maka satu proses dapat memiliki banyak thread yang independen. Thread-thread tersebut harus dapat bekerjasama untuk mencapai tujuan proses.

Interaksi Antar Proses. Pada sistem dengan banyak proses (kongkuren), terdapat 2 katagori interaksi, yaitu:

1. Proses-proses Saling Tidak Peduli (Independen).  
Proses-proses ini tidak dimaksudkan untuk bekerja untuk mencapai tujuan tertentu. Pada multiprogramming dengan proses-proses independen, dapat berupa batch atau sesiinteraktif, atau campuran keduanya.
2. Proses-proses Saling Mempedulikan Secara Tidak Langsung.  
Proses-proses tidak perlu saling mempedulikan identitas proses-proses lain, tapi sama-sama mengakses objek tertentu, seperti buffer masukan/keluaran. Proses-proses itu perlu bekerja sama (cooperation) dalam memakai bersama objek tertentu.

Dalam sistem operasi diperlukan sinkronisasi, ha ini dikarenakan:

1. Akses-akses yang dilakukan secara bersama-sama ke data yang sama, dapat menyebabkan data menjadi tidak konsisten.
2. Untuk menjaga agar data tetap konsisten, dibutuhkan mekanisme-mekanisme untuk memastikan pemintaan eksekusi dari proses yang bekerja.
3. Race Condition: Situasi di mana beberapa proses mengakses dan memanipulasi data secara bersamaan. Nilai terakhir dari data bergantung dari proses mana yang selesai terakhir.
4. Untuk menghindari Race Condition, proses-proses secara bersamaan harus disinkronisasikan.

Pada sinkronisasi terdapat beberapa problem klasik yakni: Problem *Bounded buffer*, Problem *Readers and Writer*, Problem *Dining Philosophers* (Ali Pangera, Abas & Ariyus, Doni, 2010).

### METODE PENELITIAN

*Dining Philosophers Problem* merupakan salah satu masalah klasik dalam sinkronisasi. *Dining Philosophers Problem* dapat diilustrasikan sebagai berikut, terdapat

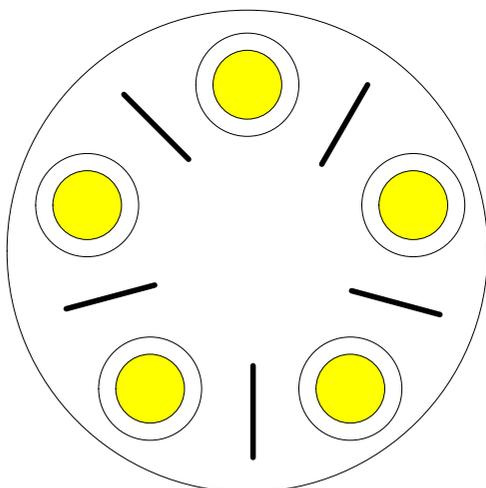
lima orang filsuf yang sedang duduk mengelilingi sebuah meja. Terdapat lima mangkuk mie di depan masing-masing filsuf dan satu sumpit di antara masing-masing filsuf. Para filsuf menghabiskan waktu dengan berpikir (ketika kenyang) dan makan (ketika lapar). Ketika lapar, filsuf akan mengambil dua buah sumpit (di tangan kiri dan tangan kanan) dan makan. Namun adakalanya, hanya diambil satu sumpit saja. Jika ada filsuf yang mengambil dua buah sumpit, maka dua filsuf di samping filsuf yang sedang makan harus menunggu sampai sumpit ditaruh kembali. Hal ini dapat diimplementasikan dengan *wait* dan *signal*.

Meskipun solusi ini menjamin bahwa tidak ada 2 tetangga yang makan bersama-sama, namun masih mungkin terjadi *deadlock*, yaitu jika tiap-tiap filsuf lapar dan mengambil sumpit kiri, maka semua nilai sumpit=0, dan kemudian tiap-tiap filsuf akan mengambil sumpit

```

--r--
wait (sumpit[i]);
wait (sumpit [i+1 mod 5]);
...
makan
...
signal (sumpit[i]);
signal (sumpit[i+1 mod 5]);
...
berpikir
...
until false
    
```

Gambar 1. Struktur proses filsuf ke-i



Gambar 2. Lima filsuf dalam satu meja makan

kanan, maka akan terjadi *deadlock*. Ada beberapa cara untuk menghindari *deadlock*, antara lain:

1. Mengijinkan paling banyak 4 orang filsuf yang duduk bersama-sama pada satu meja.
2. Mengijinkan seorang filsuf mengambil sumpit hanya jika kedua sumpit itu ada.
3. Menggunakan suatu solusi asimetrik, yaitu filsuf pada nomor ganjil mengambil sumpit kiri dulu baru sumpit kanan. Sedangkan filsuf yang duduk di kursi genap mengambil sumpit kanan dulu baru sumpit kiri.

Proses disebut *deadlock* jika proses menunggu satu kejadian tertentu yang tak akan pernah terjadi. Sekumpulan proses berkondisi *deadlock* bila setiap proses yang ada di kumpulan itu menunggu suatu kejadian yang hanya dapat dilakukan proses lain yang juga berada di kumpulan itu. Proses menunggu kejadian yang tidak akan pernah terjadi. *Deadlock* terjadi ketika proses-proses mengakses secara eksklusif sumber daya. Pada kasus *Dining Philosophers* ini, kondisi *deadlock* terjadi jika semua filosof lapar dan memegang sumpit di tangan kiri. Hal ini dapat diselesaikan dengan semaphore.

*Semaphore* adalah salah satu cara menangani *critical section*. *Semaphore* S merupakan variabel bertipe *integer* yang diakses dengan 2 standar operasi *atomic*, yaitu *wait* dan *signal*.

Untuk menghindari *busy waiting*, dilakukan modifikasi pada operasi *wait* dan *signal*. Jika suatu proses sedang mengeksekusi operasi *wait*, maka nilai *semaphore* menjadi tidak positif. Pada saat ini, proses akan memblok dirinya sendiri dan ditempatkan pada *waiting queue*. Proses yang sedang diblok akan menunggu hingga *semaphore* S direstart, yaitu pada saat beberapa proses yang lain mengeksekusi operasi *signal*. Suatu proses akan direstart dengan operasi *wakeup*, yang akan mengubah proses dari keadaan *waiting* ke *ready*.

*Semaphore* adalah salah satu cara menangani *critical section*. *Semaphore* S merupakan variabel bertipe *integer* yang diakses dengan 2 standar operasi *atomic*, yaitu *wait* dan *signal*. Operasi-operasi ini diwakili dengan P (*wait*) dan V(*signal*), sebagai berikut:

```

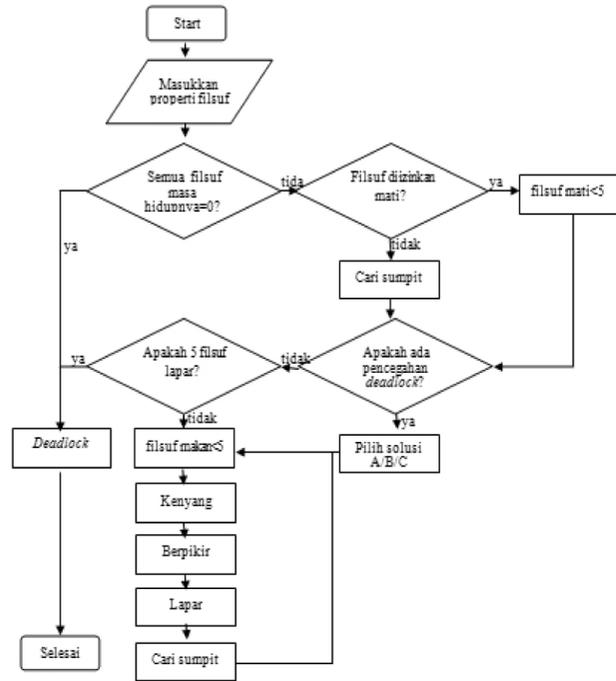
wait(S) : while S ≤ 0 do no_op;
          S:= S - 1;
signal(S) : S:= S + 1;
    
```

Misalkan ada 2 proses yang sedang berjalan secara simultan, yaitu proses  $P_1$  dengan pernyataan  $S_1$  dan proses  $P_2$  dengan  $S_2$ . Andaikan kita mengharapkan  $S_2$  baru akan dijalankan hanya setelah  $S_1$  selesai. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan *semaphore synch* (dengan nilai awal = 0) yang akan di-*share* oleh kedua proses.

Untuk Proses  $P_1$ :

```

S1;
signal (synch);
    
```



Gambar 3. Flowchart Sistem

Untuk Proses P<sub>2</sub>:

```
wait (synch);
S2;
```

Karena nilai awal untuk variabel ‘synch’ adalah nol, maka P<sub>2</sub> akan mengeksekusi S<sub>2</sub> hanya setelah P<sub>1</sub> mengerjakan instruksi ‘signal (synch)’ setelah eksekusi S<sub>1</sub>.

Flowchart sistem dapat dilihat pada Gambar 3:

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Inti dari algoritma untuk mensimulasikan *Dining Philosophers Problem* dirancang dan ditempatkan di dalam komponen *visual basic* yaitu *timer*. *Timer* merupakan komponen yang akan menjalankan instruksi yang ditempatkan di dalamnya setiap interval waktu yang diberikan. Interval waktu *timer* adalah sebesar *input* nilai representasi waktu 1 sekon di dalam program dengan waktu 1 sekon dalam kenyataan. Komponen inilah yang mengatur pergerakan dan kondisi filsuf setiap waktunya. Komponen timer diatur sbb:

**Implementasi Sistem Tanpa Pencegahan *Deadlock***

Untuk dapat lebih memahami dan melakukan pengujian pada sistem, dilakukan pengujian beberapa kali untuk mengetahui kondisi yang sering menyebabkan *deadlock* dan kondisi yang meminimalkan terjadinya *deadlock* tanpa menggunakan metode pencegahan *deadlock*. Percobaan pertama misalkan properti 5 orang filsuf dalam simulasi adalah sbb:

```
Private Sub Timer1_Timer()
    {Tambah Waktu}
    nWaktu = nWaktu + 1
    lblWaktu = nWaktu

    {Ulangi algoritma di bawah ini untuk 5 filsuf}
    For I = 1 To 5

        With Filofof(I)

            'Variabel sumpit kiri
            nSumpitKiri = I

            'Variabel sumpit kanan
            If I - 1 = 0 Then
                nSumpitKanan = 5
            Else
                nSumpitKanan = I - 1
            End If
        End With
    Next I
End Sub
```

```
{Update kondisi filsuf}
Select Case Filofof(I).Aksi
    {Filsuf sedang mencari sumpit}
    Case "CARI SUMPIT"

        If .nKondisi > -1 Then
            'Kurangi Kondisi
            .nKondisi = .nKondisi - 1
        End If

        If .nKondisi >= 0 Then
            'Update p-bar
            smpB(I).Width = Int((.nKondisi *
                CDBl(nPBar)) / .nWaktuB)
        End If

        If .nKondisi = -1 Then
            'Cek Dead Condition Available
            If bMati Then

                .Kondisi = "MATI"
                .Aksi = "MATI"

                'Log
                txtLog.Text = txtLog.Text & vbCrLf & _
                    "[t = " & nWaktu & "s] Filsuf-" & _
                    I & " MATI."
            End If
        End If
    End Select
```

```
{Filsuf sedang makan}
Case "MAKAN"
    'Tambah Kondisi
    .nKondisi = .nKondisi + 1

    If .nKondisi = .nWaktuA + .nWaktuB Then

        'Sekarang filsuf Kenyang, Mulai Berpikir
        nTemp2 = .nKondisi - .nWaktuB
        smpA(I).Width = Int((nTemp2 + CDBl(nPBar)) /
            .nWaktuA)

        .Kondisi = "KENYANG"
        .Aksi = "KENYANG"

        'Log
        txtLog.Text = txtLog.Text & vbCrLf & _
            "[t = " & nWaktu & "s] Filsuf-" & _
            I & " kenyang dan mulai berpikir."
    End If

    ElseIf .nKondisi > .nWaktuB Then

        'Sekarang Filsuf Hampir Kenyang dan Tetap
        Makan
        nTemp2 = .nKondisi - .nWaktuB
        smpA(I).Width = Int((nTemp2 + CDBl(nPBar)) /
            .nWaktuA)

        .Kondisi = "KENYANG"
        .Aksi = "MAKAN"
    End If

    Else
        'Filsuf Masih Lapar dan Tetap Makan
        smpB(I).Width = Int((.nKondisi +
            CDBl(nPBar)) / .nWaktuB)

        .Kondisi = "LAPAR"
        .Aksi = "MAKAN"
    End If
End Select
```

**Tabel 1.** Properti Filsuf Percobaan

	Waktu-A (sekon)	Waktu-B (sekon)	Kondisi Awal (sekon)
Filsuf-1	2	2	2
Filsuf-2	4	4	2
Filsuf-3	6	6	4
Filsuf-4	8	8	4
Filsuf-5	10	10	4

Dari tabel dapat diketahui kondisi masing-masing filsuf, yaitu filsuf-1 berada dalam kondisi lapar karena kondisi awal 2 sekon sama dengan waktu-B. Filsuf-2 berada dalam kondisi lapar karena kondisi awal 2 sekon di bawah waktu-B, filsuf-3 berada dalam kondisi lapar, filsuf-4 berada dalam kondisi lapar dan filsuf-5 berada dalam lapar.

Proses simulasi adalah sebagai berikut:

Pada saat  $t = 1$  sekon, semua filsuf merasa lapar dan mendapatkan sumpit di tangan kiri. Pada saat  $t = 8$  sekon, terjadi *deadlock* dikarenakan semua filsuf telah merasa lapar, masing-masing filsuf memegang supit ditangan kiri. Pada  $t = 8$  sekon ini, filsuf-1, filsuf-2, batas waktu B telah terlampaui dan tidak mendapatkan sumpit ditangan kiri, sedangkan filsuf-3, filsuf-4 dan filsuf-5 tidak segera mendapatkan sumpit karena telah dipakai oleh para filsuf



**Gambar 4.** Ilustrasi kondisi simulasi saat  $t=8$  sekon

History hasil simulasi sbb:

Filsuf	Waktu-A (s)	Waktu-B (s)	Masa Hidup (s)	Kondisi Awal
Filsuf 1	2	2	-1	LAPAR
Filsuf 2	4	4	-1	LAPAR
Filsuf 3	6	6	-1	LAPAR
Filsuf 4	8	8	-1	LAPAR
Filsuf 5	10	10	-1	LAPAR

DINING PHILOSOPHER LOG

```
[t = 1s] Filsuf-1 mendapatkan sumpit di tangan kiri.
[t = 1s] Filsuf-2 mendapatkan sumpit di tangan kiri.
[t = 1s] Filsuf-3 mendapatkan sumpit di tangan kiri.
[t = 1s] Filsuf-4 mendapatkan sumpit di tangan kiri.
[t = 1s] Filsuf-5 mendapatkan sumpit di tangan kiri.
[t = 8s] Terjadi kondisi DEADLOCK!
```

**Tabel 2.** Properti Filsuf Percobaan ke dua

	Waktu-A (sekon)	Waktu-B (sekon)	Kondisi Awal (sekon)
Filsuf-1	2	2	2
Filsuf-2	4	4	2
Filsuf-3	6	6	4
Filsuf-4	8	8	4
Filsuf-5	10	10	16



**Gambar 5.** Ilustrasi kondisi simulasi saat  $t=100$  sekon

lain, hal ini mengakibatkan *deadlock*. Ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar 4.

Percobaan ke dua dengan mengganti properti filsuf dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari tabel dapat diketahui kondisi masing-masing filsuf, yaitu filsuf-5 berada dalam kondisi kenyang karena kondisi awal 16 sekon di atas waktu-B. Filsuf-1, filsuf-2, filsuf-3 dan filsuf-4 lapar karena kondisi awal di bawah waktu-B, Pada simulasi ini digunakan filsuf dengan nilai A paling tinggi dan nilai B paling tinggi yang berada dalam kondisi kenyang tidak pada batas minimal pergantian kenyang dan lapar.

Proses simulasi pada saat  $t = 1$  sekon, filsuf-5 kenyang dan 4 filsuf lain merasa lapar dan mendapatkan sumpit di tangan kiri. Pada  $t=2$  sekon, filsuf-1 mulai makan karena telah mendapatkan 2 sumpit. Kondisi ini berlangsung terus sampai dengan waktu  $t=100$  tanpa terjadi *deadlock*. Ilustrasinya adalah dapat dilihat pada Gambar 5.

**SIMPULAN**

Peneliti menarik kesimpulan *Dining Philosophers Problem* disimulasikan di dalam perangkat lunak menggambarkan proses yang terjadi di dalam sistem operasi, di mana proses-proses saling bersaing memperoleh sumber daya yang disediakan pada saat yang bersamaan.

Apabila semua filsuf sedang berada dalam kondisi lapar dan memegang sumpit di tangan sebelah kiri, maka akan terjadi kondisi *deadlock*.

Dari percobaan tanpa pencegahan *deadlock* dengan waktu kenyang menjadi lapar masing-masing filsuf secara berurutan 2, 4, 6, 8 dan 10 serta waktu lapar menjadi mati 2, 4, 6, 8, dan 10 dilakukan pengujian beberapa kali ke sistem dengan mengganti masa hidup filsuf, didapatkan masa hidup filsuf yang diujikan ke sistem yang tidak terjadi *deadlock* selama waktu percobaan 100 detik adalah masa hidup masing-masing filsuf secara berurutan 2,2,4,4,16. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tidak cepat terjadi *deadlock* jika salah satu filsuf yang memiliki waktu kenyang menjadi lapar besar berada dalam kondisi kenyang.

Kondisi *deadlock* dapat dicegah atau dihindari dengan beberapa solusi, tetapi apabila *deadlock* telah terjadi, maka tidak akan dapat diselesaikan karena semua proses (dalam hal ini, filsuf) akan saling menunggu sebuah kondisi yang tidak akan pernah terjadi.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Ramdani, D.Lesmiadi, dkk, **Analisis Penerapan Semaphore dalam Mengatasi Masalah Sinkronisasi Dining Philosophers**, Digital Lib, Unikom, 2004.
2. Hariyanto, Bambang, **Sistem Operasi**, Bandung: Informatika, 2009: Revisi keempat.
3. Ali Pangera, Abas & Ariyus, Doni, **Sistem Operasi**. Yogyakarta: Andi Yogyakarta. 2010,
4. SP, Hariningsih, **Sistem Operasi**, Bandung: Graha Ilmu, 2003.
5. Suharini, Yustina Sri. **Mekanise Tingkat Rendah pada Pemrograman Konkuren**, Jurnal Teknologi Industri, 2000: Vol. 4 No. 3.

# Peramalan Energi Listrik Jangka Panjang di Kabupaten Sampang Pasca Suramadu Menggunakan Metode Jaring Saraf Tiruan *Counterpropagation Termodifikasi*

## Electric Energy Long Term Forecasting in Sampang Regency Post Suramadu Using Modified Counterpropagation Artificial Neural Network Method

Amirullah<sup>1)</sup> dan Adiananda<sup>2)</sup>

Program Studi Teknik Elektro,

Fakultas Teknik Universitas Bhayangkara Surabaya

Jl. Ahmad Yani 114 Surabaya

Email: am9520012003@yahoo.com<sup>1)</sup> dan adi.dirza@gmail.com<sup>2)</sup>

### ABSTRAK

Tujuan penelitian adalah meramalkan kebutuhan energi listrik jangka panjang di Kabupaten Sampang secara cerdas dan akurat. Peramalan dilakukan untuk menyediakan prediksi awal mengenai kebutuhan energi listrik jangka panjang di Kabupaten Sampang secara mencukupi. Metode Fuzzy Analytic Hierarchy Process digunakan untuk menentukan variabel data yang akan dipilih sebagai input peramalan menggunakan JST Counterpropagation Termodifikasi. Hasil penggunaan Metode Fuzzy Analytic Hierarchy Process menunjukkan bahwa urutan nilai terbesar atau faktor yang paling berpengaruh pada peramalan beban adalah; data beban, data PDB dan data cuaca, sehingga data beban dipakai sebagai input peramalan beban menggunakan JST Counterpropagation Termodifikasi. Hasil pelatihan antara data energi aktual dan output pelatihan menggunakan JST Counterpropagation Termodifikasi pada GI Sampang sebesar 0 atau 0%. Pelatihan ini konvergen pada epoch ke-89 dan jumlah unit pada lapis tersembunyi adalah 5 neuron. Nilai MAPE antara data aktual dan output hasil pengujian data pada peramalan energi listrik Tahun 2013 di GI Sampang adalah 0,00 atau 0%. Output hasil peramalan energi listrik tahun 2013 di GI Sampang sudah memenuhi syarat, karena masih di bawah nilai (MAPE) sebesar 0,05 atau 5%. Dengan demikian JST Counterpropagation Termodifikasi dapat digunakan untuk melakukan peramalan beban jangka panjang di Kabupaten Sampang.

**Kata kunci:** Peramalan Energi Listrik, Jaring Saraf Tiruan, Fuzzy Analytic Hierarchy Process Method, Counterpropagation Termodifikasi, Mean Average Percentage Error

### ABSTRACT

The objective of research is forecast the long-term electricity needs in Sampang Regency intelligently and accurately. Forecasting is done to provide early predictions about the long-term electricity needs in Sampang regency adequately. Fuzzy Analytic Hierarchy Process Method is used to determine the variable data to be selected as the input Modified Counterpropagation forecasting using ANN. The results using Fuzzy Analytic Hierarchy Process Method shows that the biggest value of the order or the most influential factor on the load forecasting are: load data, GDP data and weather data, so that the load data used as input load forecasting using ANN Modified Counterpropagation. Training results between the data and the actual energy output ANN training using the Counterpropagation Modified Method in Sampang Swichgear shows as 0 or 0%. The training epoch converging on the 89th and the number of units in the hidden layer neuron is 5. MAPE values between the actual data and the output data on the test results in 2013 forecasting of electric energy in Sampang GI is 0.00 or 0%. Output electrical energy forecasting results in 2013 on the GI Sampang already qualified, as it is still below the value (MAPE) of 0.05 or 5%. Thus Counterpropagation Modified ANN can be used to perform long-term load forecasting in Sampang Regency.

**Key words:** Electrical Energy Forecasting, Neural Network, Fuzzy Analytic Hierarchy Process Method, Modified Counterpropagation, Mean Average Percentage Error.

### PENDAHULUAN

Peramalan energi listrik berhubungan mulai beberapa jam sampai dengan tahun, sangat membantu pengoperasian dan perencanaan sistem tenaga listrik. Peramalan energi dibagi menjadi tiga kategori, yaitu peramalan energi jangka pendek, menengah, dan panjang [1,2,3]. Peramalan energi jangka panjang meliputi periode

10 sampai 20 tahun, dibutuhkan untuk perencanaan kapasitas pembangkitan, jaring transmisi, dan distribusi. Peramalan energi dengan akurasi tinggi tidak hanya dibutuhkan memenuhi keandalan operasi, tetapi juga memenuhi permintaan pelanggan secara cukup, karena peramalan di bawah atau diatas permintaan pelanggan akan menghasilkan kenaikan biaya operasi atau kehilangan potensi pendapatan. Peramalan energi listrik

digunakan sebagai dasar dalam mempertimbangkan kebutuhan pembangunan bidang ketenagalistrikan di suatu negara atau daerah. Peningkatan kebutuhan energi listrik tanpa diimbangi dengan penyediaan tenaga listrik yang memadai akan menyebabkan krisis tenaga listrik yang berdampak dengan seringnya terjadi pemadaman aliran listrik. Tetapi penyediaan energi listrik tanpa melihat perkembangan kebutuhan energi listrik akan berdampak pada peningkatan investasi dan tarif listrik cenderung semakin mahal [4,5,6,7,8,9].

Peramalan energi listrik tradisional menggunakan Metode Statistik, yaitu Regresi, Deret Waktu, dan Dekomposisi Fourier, dan sebagainya sudah digunakan dalam beberapa penelitian sebelumnya. [2,6,7,9] Kelemahan metode ini adalah tidak mampu memberikan hasil memuaskan pada hubungan kompleks non-linier yang masih muncul antara energi dan sejumlah faktor yang mempengaruhi peramalan. Akibatnya error peramalan masih relatif tinggi, dibandingkan dengan nilai keluaran sebenarnya [2]. Teknik peramalan energi modern antara lain jaring saraf tiruan (JST), Fuzzy Logic, Sistem Cerdas, dan sebagainya, telah dikembangkan oleh sejumlah peneliti akhir-akhir ini dan memberikan hasil yang cukup memuaskan [10,11,12,13,14,15].

Peramalan energi listrik secara cerdas dan akurat dibutuhkan untuk menyediakan prediksi awal mengenai kebutuhan energi listrik jangka panjang secara mencukupi di Kabupaten Sampang Latar belakang penelitian adalah pasca selesainya Jembatan Surabaya-Madura (Suramadu), Kabupaten Sampang diprediksikan berkembang menjadi salah satu daerah atau lokasi industri di Madura. Industrialisasi membutuhkan penambahan fasilitas perumahan, layanan publik, dan komersial. Untuk mendukung pengembangan aspek tersebut, Kabupaten Sampang membutuhkan penambahan kapasitas transformator daya, penambahan jaringan transmisi dan distribusi. Penelitian ini mengusulkan penggunaan Metode Kecerdasan Buatan yaitu JST *Counterpropagation* Termodifikasi untuk meramalkan kebutuhan energi listrik jangka panjang di Madura. Data penelitian ini adalah data historis energi listrik, pendapatan domestik regional bruto (PDRB), dan cuaca. Metode Fuzzy Analytic Hierarchy Process digunakan untuk memilih data historis dan paling berpengaruh pada peramalan energi. JST *Counterpropagation* Termodifikasi digunakan untuk meramalkan kebutuhan energi listrik di Kabupaten Sampang dengan periode peramalan sampai 10 tahun mendatang. Metode kecerdasan buatan yang diusulkan diharapkan dapat meningkatkan akurasi dalam meramalkan kebutuhan energi listrik jangka panjang di Kabupaten Sampang. Penelitian menggunakan Metode Fuzzy Analytic Hierarchy Process untuk seleksi variabel input menggunakan dan peramalan energi listrik menggunakan JST *Counterpropagation* Termodifikasi. Penelitian menggunakan perangkat lunak Matlab.

## LANDASAN TEORI

### Peramalan Energi Listrik Jangka Panjang

Peramalan energi listrik memegang peranan penting pada pengoperasian, pengaturan, dan perencanaan sistem tenaga listrik. Estimasi kebutuhan energi suatu negara antara-lain: berkaitan dengan perencanaan pembangkit baru, perawatan rutin, dan penjadwalan pembangkitan harian, semuanya tergantung pada peramalan energi secara akurat di masa mendatang.

Berdasarkan tujuannya, permasalahan peramalan energi diklasifikasikan menjadi dua katagori, yaitu [1]:

1. Peramalan energi setempat (*spatial*): membahas mengenai distribusi peramalan energi di masa mendatang pada wilayah tertentu, seperti kabupaten, negara, atau beberapa negara.
2. Peramalan energi temporer: berhubungan dengan peramalan energi pada pembangkit khusus atau sekelompok konsumen selama beberapa jam, bulan, atau beberapa tahun mendatang.

Berdasarkan periode peramalan, ada tiga jenis peramalan energi temporer, yaitu:

1. Peramalan energi jangka panjang: digunakan terutama untuk perencanaan sistem. Ciri peramalan energi jangka panjang adalah menjangkau periode 10 sampai dengan 20 tahun mendatang. Kunci utama pada peramalan energi jangka panjang meliputi: kapasitas sistem kelistrikan berkaitan dengan penggunaan peralatan, tingkat dan jenis aktivitas ekonomi, tarif dasar listrik, harga sumber daya energi alternatif, serta faktor non-ekonomi yaitu strategi penjualan, konservasi energi, dan kondisi cuaca [2,3].
2. Peramalan energi jangka menengah: digunakan khususnya untuk penjadwalan pasokan bahan bakar dan program perawatan peralatan. Peramalan ini biasanya meliputi periode beberapa minggu mendatang [1].
3. Peramalan energi jangka pendek: digunakan sebagai dasar pengoperasian harian pembangkit dan penjadwalan sistem tenaga listrik [1,4,5,6,7,8,9].

Secara umum peramalan energi listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu peramalan energi listrik tradisional dan modern. Peramalan energi menggunakan metode statistik tradisional, antara lain regresi, deret waktu, pengenalan pola, Kalman Filter, dan sebagainya sejak lama sudah digunakan dan menunjukkan akurasi peramalan pada sistem dependen [2,6,7,9]. Metode tradisional tersebut dapat dikombinasikan menggunakan beberapa model metode peramalan lain dan menunjukkan hasil cukup memuaskan pada sistem praktis. Namun, sejumlah metode tersebut tidak mampu memberikan penjelasan memuaskan mengenai ketidaklinieran hubungan kompleks yang masih muncul antara energi dan sejumlah faktor yang mempengaruhi

peramalan serta biasanya bergantung pada sejumlah perubahan sistem (misalnya musim, waktu harian, dan sebagainya) [2]. Metode peramalan energi sistem cerdas, Jaringan Saraf Tiruan (JST), Fuzzy Logic, Wavelet, Jaringan Elman saat ini sudah dikembangkan dan memberikan hasil yang cukup memuaskan. Di antara sekian metode tersebut, Metode JST merupakan metode yang menarik, karena metode ini mampu mengatasi ketidaklinieran hubungan antara energi dan sejumlah faktor yang mempengaruhi peramalan secara langsung dari data historis, tanpa harus menyesuaikan dengan model yang diberikan. Beberapa macam dari JST telah diaplikasikan pada peramalan energi jangka panjang, misalnya: JST umpan maju lapis banyak dengan satu lapis tersembunyi, JST *Constructive Backpropagation*, JST *Recurrent*, JST *Counterpropagation*, dan beberapa algoritma JST lain [10,11,12,13,14,15].

**Model Persamaan Fuzzy Analytic Hierarchy Process**

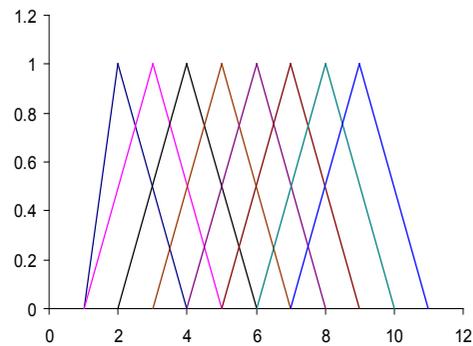
*Analytic Hierarchy Process* (AHP) adalah prosedur yang berbasis matematis yang sangat baik dan sesuai untuk kondisi evaluasi atribut-atribut kualitatif. Atribut-atribut tersebut secara matematik dikuantitatif dalam satu set perbandingan berpasangan. Kelebihan AHP dibandingkan dengan yang lainnya karena adanya struktur yang berhirarki, sebagai konsekuensi dari kriteria yang dipilih, sampai kepada sub-sub kriteria yang paling mendetail. Karena menggunakan input persepsi manusia, model ini dapat mengolah data yang bersifat kualitatif maupun kuantitatif. Jadi kompleksitas permasalahan yang ada di sekitar kita dapat didekati dengan baik oleh model AHP ini. Selain itu AHP mempunyai kemampuan untuk memecahkan masalah yang multi-objektif dan multi-kriteria yang didasarkan pada perbandingan preferensi dari setiap elemen dalam hirarki.

Untuk setiap kriteria dan alternatif, kita harus melakukan perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) yaitu membandingkan setiap elemen dengan elemen lainnya pada setiap tingkat hirarki secara berpasangan sehingga didapat nilai tingkat kepentingan elemen dalam bentuk pendapat kualitatif. Untuk mengkuantifikasikan pendapat kualitatif tersebut digunakan skala penilaian sehingga akan diperoleh nilai pendapat dalam bentuk angka (kuantitatif). Nilai-nilai perbandingan relatif kemudian diolah untuk menentukan peringkat relatif dari seluruh alternatif. Kriteria kualitatif dan kriteria kuantitatif dapat dibandingkan sesuai dengan penilaian yang telah ditentukan untuk menghasilkan ranking dan prioritas. Tabel 1. menunjukkan tingkat kepentingan evaluasi perbandingan berpasangan dalam *Saaty's Scale* 1 – 9.

Dalam pengembangan selanjutnya digunakan konsep Fuzzy dalam penyelesaian metode AHP. Fuzzy AHP diaplikasikan pada bilangan fuzzy segitiga melalui fungsi keanggotaan segitiga. dan digambarkan pada Gambar 1 sebagai berikut:

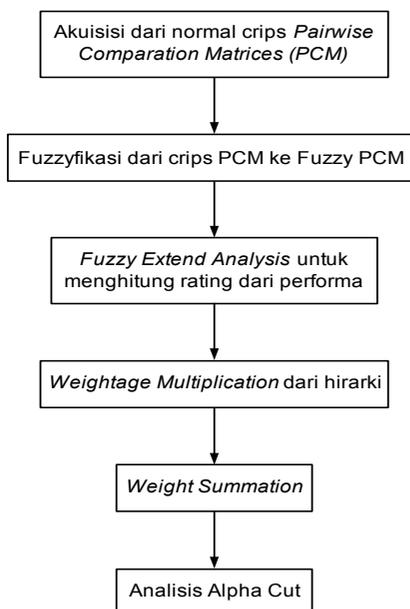
**Tabel 1.** Tingkat Kepentingan

Nilai	Interprestasi
1	Oi dan Oj sama penting
3	Oi sedikit lebih penting dari Oj
5	Oi kuat tingkat kepentingannya dari Oj
7	Oi sangat kuat tingkat kepentingannya dari Oj
9	Oi mutlak lebih penting dari Oj
2,4,6,8	Nilai-nilai intermediate



**Gambar 2.** Fungsi Keanggotaan Berbentuk Segitiga

Metode Fuzzy AHP digunakan dalam menyelesaikan berbagai permasalahan pengambilan keputusan yang rumit. Fuzzy AHP merupakan pengembangan dari metode AHP tradisional, ketidakmampuan AHP tradisional berupa ketidaktepatan dan subyektivitas dalam proses perbandingan pasangan (*pairwise comparison*) telah ditingkatkan dalam Fuzzy AHP. Dalam istilah fuzzy, perbandingan yang diberikan pembuat keputusan adalah bilangan fuzzy yang digambarkan oleh fungsi keanggotaan. Bilangan fuzzy segitiga digunakan dalam merepresentasikan penilaian pembuat keputusan terhadap



**Gambar 2.** Diagram Alir Metode Fuzzy AHP

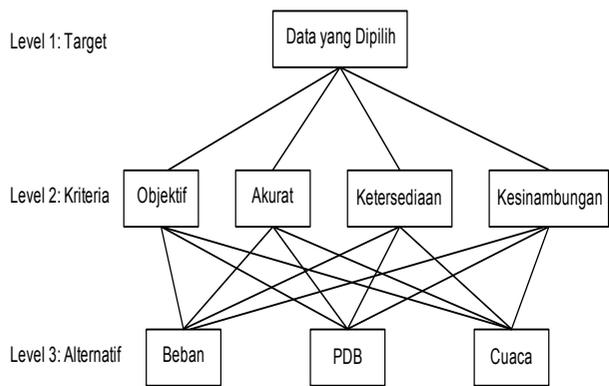
alternatif-alternatif yang berkenaan dengan setiap kriteria. Gambar 2 menunjukkan diagram alir Metode Fuzzy AHP.

**Pemilihan Data yang Dipakai Dalam Peramalan dengan Menggunakan Metode Fuzzy AHP**

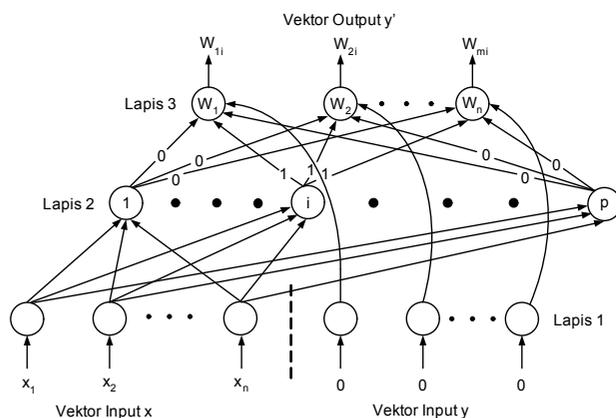
Penggunaan Fuzzy AHP dimulai dengan membuat struktur hirarki atau jaring dari permasalahan yang ingin diteliti. Di dalam hirarki terdapat tujuan utama, kriteria-kriteria, subkriteria-subkriteria dan alternatif-alternatif yang akan dibahas. Perbandingan berpasangan dipergunakan untuk membentuk hubungan di dalam struktur. Hasil dari perbandingan berpasangan ini akan membentuk matriks. Berikut ini struktur hirarki dari data-data yang akan dipakai dalam proses peramalan kebutuhan energi listrik jangka menengah:

**Metoda JST Couterpropagation**

JST Couterpropagation adalah perpaduan dari kelompok jaring Kohonen dan Groosberg *outstar*. Model JST Couterpropagation menggunakan dua model pembelajaran yaitu pelatihan terbimbing dan pelatihan tidak terbimbing. Jaring Kohonen menerapkan strategi kompetitif untuk beberapa penimbang dari unit lapis input ke unit lapis tersembunyi. Sedangkan Grossberg *outstar* memetakan neuron yang dipilih pada output yang



**Gambar 3.** Struktur Hirarki Fuzzy AHP



**Gambar 4.** JST Counterpropagation

diinginkan. Pelatihan terbimbing dan tidak terbimbing diterapkan untuk melatih model JST Counterpropagation. Metoda ini mampu mereduksi jumlah pelatihan 1/100 kali lebih kecil dari JST Backpropagation standar.

Gambar 4 menjelaskan model pemrosesan pada vektor input oleh JST Counterpropagation [19]. Vektor input,  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  didistribusikan pada semua unit pada lapis kompetitif. Unit ke-i sebagai pemenang kompetisi dan mempunyai output 1. Unit-unit kompetitif yang lain mempunyai output 0. Kompetisi ini efektif memilih vektor output yang dikehendaki oleh hubungan tunggal yang dibangkitkan pada masing-masing unit-unit keluaran di lapis output.

Algoritma penyelesaian peramalan energi listrik jangka panjang menggunakan JST Counterpropagation adalah:

1. Pilih acak pasangan  $(x,y)$  dari data pelatihan.
2. Normalisasi vektor masukan  $x$ , dengan membagi setiap komponen  $x$  dengan magnitudo  $\|x\|$ .

$$\|x\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n x_j^2} \dots\dots\dots (1)$$

3. Inialisasi neuron masukan dan dinormalisasi seperti vektor masukan, serta dihitung aktivasi setiap unit pada lapis linier pada lapis tersembunyi.
4. Pada lapis kompetitif, tentukan unit  $W$  dengan fungsi aktivasi yang paling besar sebagai pemenang.
5. Penimbang antara  $W$  dan semua unit  $N$  pada lapis masukan diatur dengan menggunakan Persamaan (2):

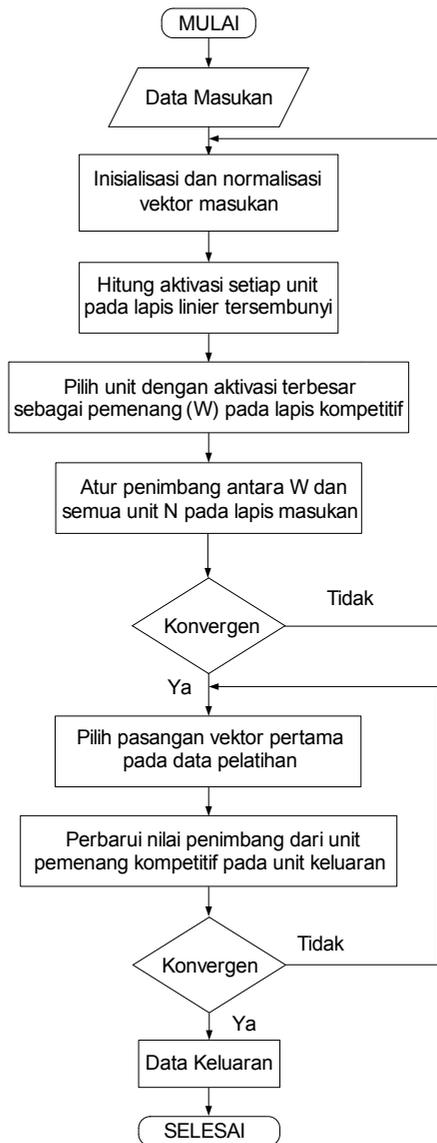
$$w_{W_n}^H(t+1) = w_{W_n}^H(t) + \alpha(x_n - w_{W_n}^H(t)) \dots\dots\dots (2)$$

6. Ulangi langkah 1 sampai 5 sehingga semua pola pelatihan terproses pada iterasi pertama, nilai  $\alpha$  dimulai dari 0,1 dan terus berkurang pada setiap iterasi.
7. Ulangi langkah 6 sehingga semua pola masukan vektor terlatihkan dengan unit kompetisi yang sama.
8. Pilih pasangan vektor pertama pada data pelatihan (pola yang sedang dilatihkan).
9. Ulangi langkah 2 sampai 4 (normalisasi, kompetisi) untuk pola yang sedang dilatihkan.
10. Atur nilai penimbang antara unit pemenang pada lapis tersembunyi dengan semua unit keluaran  $M$  menggunakan Persamaan (3):

$$w_{mW}^O(t+1) = w_{mW}^O(t) + \beta(y_m - w_{mW}^O(t)) \dots\dots (3)$$

11. Ulangi langkah 9 dan 10 untuk setiap pasangan vektor data pelatihan, nilai  $\beta$  dimulai dari 0,1 dan seterusnya berkurang untuk setiap iterasi.
12. Ulangi langkah 8 sampai 11 sehingga perbedaan antara target dan keluaran riilnya di bawah nilai batas ambangnya.

Diagram alir Metode JST Counterpropagation ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir Metoda JST Counterpropagation

**Metode JST Constructive Backpropagation**

Bagian utama yang perlu diperhatikan pada pemodelan JST adalah pemilihan metode pelatihan JST dan pemilihan arsitektur JST. Secara umum, metode pelatihan hanya bermanfaat jika arsitektur JST dipilih secara tepat. JST yang terlalu kecil tidak akan memodelkan masalah dengan baik, tetapi ukuran JST yang terlalu besar akan menyebabkan *over-fitting*, sehingga generalisasi tidak tercapai. Oleh karena itu, algoritma yang dapat menemukan suatu arsitektur yang sesuai secara otomatis sangat diharapkan. Algoritma konstruktif (*constructive algorithm*), yaitu memulai dengan suatu JST kecil dan mengembangkan unit tersembunyi serta penimbang tambahan sampai diperoleh penyelesaian yang dikehendaki.

Algoritma dasar pelatihan JST *Constructive Backpropagation* (CBP) adalah sebagai berikut:

1. Inisialisasi, yaitu pembentukan JST awal berupa JST tanpa unit tersembunyi. Penimbang dari konfigurasi awal dihitung dengan meminimalkan jumlah dari error kuadrat (*sum of squared error = SSE*)

$$SSE = \sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^r (d_{lk} - o_{lk})^2 \dots\dots\dots (4)$$

$d_{lk}$  = keluaran yang dikehendaki untuk sampel ke-l dan unit keluaran ke-k

$o_{lk}$  = keluaran JST untuk sampel ke-l dan unit keluaran ke-k

$n$  = jumlah sampel data

$r$  = jumlah unit keluaran

Penimbang yang telah ditemukan dibuat tetap.

2. Pelatihan unit tersembunyi baru, yaitu menghubungkan masukan ke unit baru dan sambungkan keluarannya ke unit keluaran. Seluruh penimbang yang terhubung ke unit baru diatur dengan meminimalkan kriteria *mSSE* (*modified SSE*):

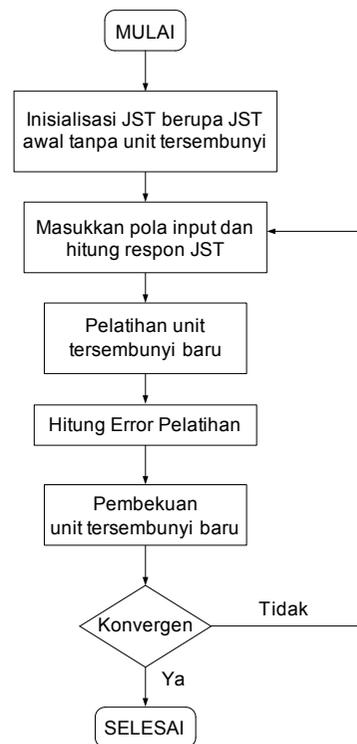
$$mSSE_i = \sum_{l,k} \left( d_{lk} - \sum_{j=0}^{i-1} v_{jk} h_{jl} - v_{ik} h_{il} \right)^2 = \sum_{l,k} (e_{kl}^i - v_{ik} h_{il})^2 \dots\dots (5)$$

$d_{lk}$  = Keluaran yang dikehendaki pada unit keluaran ke-k untuk pola training ke-l

$v_{jk}$  = interkoneksi dari unit tersembunyi ke-j ke unit keluaran ke-k

$h_{jl}$  = keluaran dari unit tersembunyi ke-j untuk pola training ke-l

$e_{kl}$  = sisa error dalam unit keluaran ke-k untuk pola training ke-l



Gambar 6. Diagram alir Metode JST Constructive Backpropagation

3. Pembekuan unit tersembunyi baru, yaitu menetapkan secara permanen penimbang yang berinterkoneksi dengan unit baru (tidak seperti pada pelatihan *Cascade-Correlation*, disini penimbang masukan dan keluaran dari unit yang diselipkan kemudian dibekukan)
4. Uji konvergensi, yaitu jika jumlah unit tersembunyi telah menghasilkan solusi yang layak, maka pelatihan dihentikan. Jika tidak, kembali ke langkah 2.

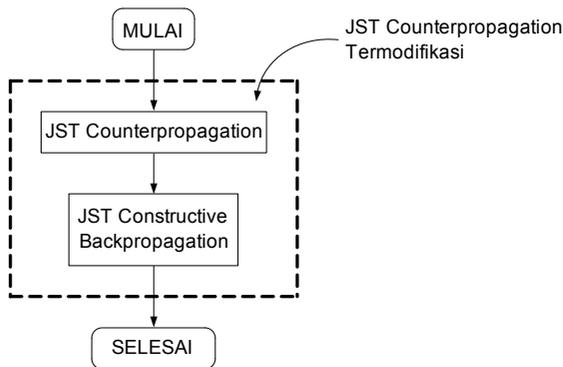
Diagram Alir Metode CBP ditunjukkan pada Gambar 6.

**JST Counterpropagation Termodifikasi**

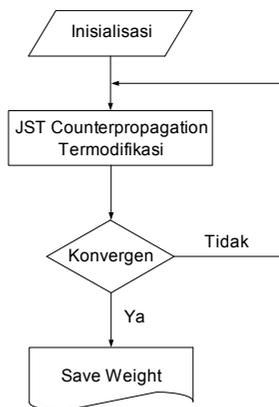
JST *Counterpropagation* Termodifikasi merupakan pengembangan dari JST *Counterpropagation* dengan menambahkan algoritma JST *Constructive Backpropagation* untuk menentukan jumlah neuron secara adaptif di lapis tersembunyi pada fase pelatihan JST. Diagram alir usulan Metode JST *Counterpropagation* Termodifikasi ditunjukkan pada Gambar 7.

**Fase Pelatihan dan Mapping JST Counterpropagation Termodifikasi**

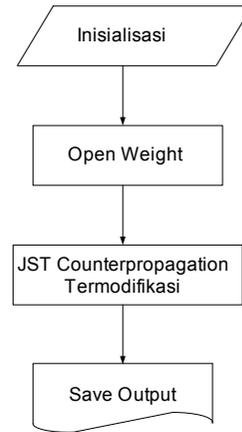
Gambar 8 dan 9 menunjukkan diagram alir pelatihan dan mapping JST menggunakan algoritma JST *Counterpropagation* Termodifikasi.



**Gambar 7.** Diagram alir Metode JST *Counterpropagation* Termodifikasi



**Gambar 8.** Diagram alir pelatihan JST *Counterpropagation* Termodifikasi



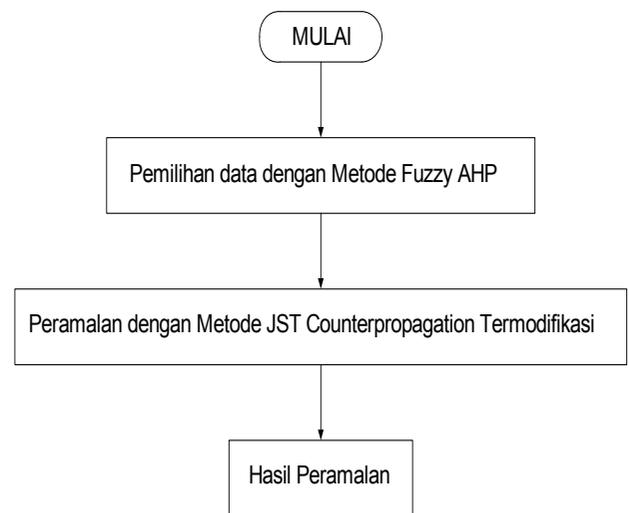
**Gambar 9.** Diagram alir mapping JST *Counterpropagation* Termodifikasi

**Diagram Alir Peramalan Energi dengan Metode Fuzzy AHP dan JST Counterpropagation Termodifikasi**

Gambar 10 menunjukkan diagram alir keseluruhan peramalan energi listrik jangka panjang mendatang di Kabupaten Sampang.

**Mean Avarage Percentage Error**

Analisis penentuan tingkat kesalahan (error) merupakan karakteristik penting yang dibutuhkan pada peramalan beban listrik. Peramalan beban listrik jangka pendek, menengah, dan panjang menggunakan Metode Kecerdasan Buatan, pada dasarnya bertujuan untuk menghasilkan peramalan dengan akurasi tinggi atau hasil peramalan energi sedapat-mungkin mendekati nilai beban sesungguhnya. Nilai akurasi peramalan energi listrik ditunjukkan oleh nilai *Mean Avarage Percentage Error* (MAPE) dan ditunjukkan pada Persamaan (6).



**Gambar 10.** Diagram alir keseluruhan peramalan energi listrik jangka panjang menggunakan Metode Fuzzy AHP dan JST *Counterpropagation* Termodifikasi

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum \frac{|L_{sebenarnya} - L_{peramalan}|}{L_{sebenarnya}} \dots\dots\dots (6)$$

Dengan:

- $L_{sebenarnya}$  = data energi sesungguhnya
- $L_{peramalan}$  = data energi hasil peramalan
- $N$  = jumlah data



Gambar 11. Jaring Transmisi 150 kV Madura

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Sistem Kelistrikan Sub-Sistem Madura dan Sampang**

Sistem kelistrikan 150 kV sub-sistem Madura termasuk dalam jaring sistem interkoneksi Jawa, Madura, Bali (Jamali). Kegiatan penyaluran energi listrik kepada pelanggan di Pulau Madura diselenggarakan oleh PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (P3B) Jawa Bali, Area Pelaksana Pemeliharaan (APP) Surabaya. Sistem kelistrikan Madura disuplai dari saluran transmisi kabel laut 150 kV dengan pembangkit terdekat berasal dari PLTU Gresik. Saluran transmisi 150 kV kabel laut mempunyai kapasitas 200 MVA dengan tipe *three-core* merk BICC buatan Jepang. Saluran transmisi tersebut berbentuk saluran ganda (*double* sirkuit) dan termasuk dalam katagori saluran menengah. Kabel laut yang digunakan adalah kabel laut *Self Contained Oil Filled (SCOF)*. Adapun jenis kabel yang terpasang pada masing-masing sirkuit 150 kV adalah:

- Sirkuit I (Utara) : kabel jenis three core (3 × 300 mm<sup>2</sup>)
- Sirkuit II (selatan) : kabel jenis three core (3 × 300 mm<sup>2</sup>)

Selain kabel laut, sistim kelistrikan Madura juga disuplai oleh dua sirkuit saluran kabel tegangan tinggi (SKTT) 150 kV melalui Jembatan Suramadu masing-masing berkapasitas 200 Megawatt (MW) dengan sumber terdekat berasal dari Gardu Induk (GI) Sukolilo Surabaya.

Sistem kelistrikan Sampang merupakan bagian dari sub-sistem 150 kV Madura dan secara keseluruhan termasuk dalam jaring sistem interkoneksi Jawa, Madura, Bali (Jamali). Sistem kelistrikan Madura disuplai dari saluran transmisi kabel laut 150 kV dengan pembangkit terdekat berasal dari PLTU Gresik. Selain kabel laut, sistim kelistrikan Madura juga disuplai oleh dua sirkuit saluran kabel tegangan tinggi (SKTT) 150 kV melalui Jembatan Suramadu masing-masing berkapasitas 200 Megawatt (MW) dengan sumber terdekat berasal dari

Gardu Induk (GI) Sukolilo. Sistem kelistrikan 150 kV Kabupaten Sampang disuplai dari Gardu Induk (GI) Sampang melalui bus 150 kV merk HAL 500 mm<sup>2</sup>. GI Sampang mempunyai dua tranformator daya 150/20 kV. Transformator pertama adalah merk Unindo berkapasitas 20 MVA dan berfungsi menurunkan tegangan tinggi 150 kV ke level tegangan menengah melalui dua bus 20 kV merk Hitachi. Transformator kedua adalah merk Pauwels berkapasitas 60 MVA dan berfungsi menurunkan tegangan tinggi 150 kV ke level tegangan menengah melalui dua bus 20 kV merk Meidensa. Kedua transformator daya mempunyai hubungan belitan primer, sekunder, dan tersier berbentuk YN yn O, dan titik netral transformator daya ditanahkan dengan tahanan tinggi 500 kV. Gambar 1 menunjukkan diagram segaris GI Sampang.

Bus tegangan menengah 20 kV pertama (merk Hitachi) mensuplai empat penyulang masing-masing; Penyulang Ketapang, Penyulang Omben, Penyulang Kedungdung, dan satu penyulang cadangan (*spare*). Bus tegangan menengah 20 kV kedua (merk Meidensa) mensuplai empat penyulang masing-masing; Penyulang Torjun, Penyulang Payudan, Penyulang Wijaya Kusuma, dan satu penyulang cadangan (*spare*). Pada kondisi gangguan kedua penyulang dihubungkan secara otomatis oleh automatic vacuum swithch (AVS) atau kopel darurat. Pada kondisi operasi normal atau tanpa gangguan AVS dalam kondisi terbuka atau off.

**Pemilihan Data dengan Menggunakan Fuzzy AHP**

Tabel 2 menunjukkan hasil proses defuzzifikasi penilaian berupa *pairwise comparison* dari kriteria.

Tabel 3 menunjukkan peringkat fuzzy melalui  $\alpha$ -cut based method 1 dengan nilai  $\alpha = 0.5$ .

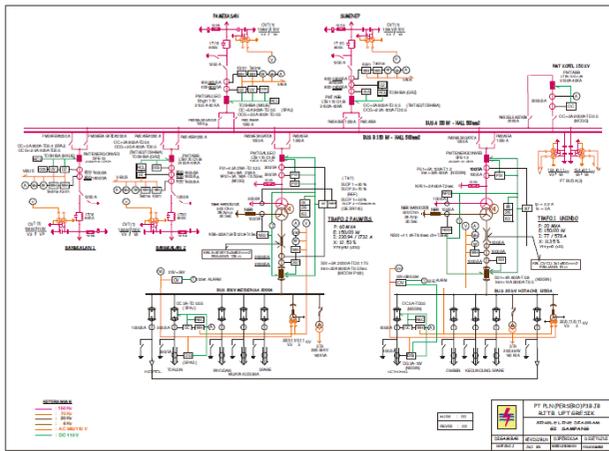
Hasil diatas konsisten menunjukkan bahwa pemilihan data beban memiliki peringkat fuzzy tertinggi yang diikuti data PDB dan data Cuaca. Kemudian dilakukan *lamda function* untuk nilai-nilai 0.1, 0.5, dan 0.9 yang menunjukkan sikap pembuat keputusan *pessimistic*,

**Tabel 2.** *Fuzzified Pairwise Comparison* dari Kriteria

Kriteria	Objektif	Akurat	Ketersediaan	Kesinambungan
Objektif	(1,1,1)	(1,3,5)	(4,6,8)	(6,8,10)
Akurat	(1/5,1/3,1/1)	(1,1,1)	(1,3,5)	(2,4,6)
Ketersediaan	(1/8,1/6,1/4)	(1/5,1/3,1/1)	(1,1,1)	(2,4,6)
Kesinambungan	(1/10,1/8,1/6)	(1/6,1/4,1/2)	(1/6,1/4,1/2)	(1,1,1)

**Tabel 3.** Peringkat Fuzzy Melalui  $\alpha$ -Cut Based Method 1 dengan Nilai  $\alpha = 0.5$

Alternatif	<i>aleft</i>	<i>aright</i>
Beban	0.30979	1.6115
PDB	0.20568	1.1544
Cuaca	0.079363	0.40663



**Gambar 12.** Diagram segaris GI Sampang

*moderate* dan *optimistic* dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.

Berdasarkan hasil perhitungan lamda meliputi nilai lamda 0.1, 0.5, dan 0.9 tetap menunjukkan bahwa nilai terbesar dihasilkan oleh alternatif beban. Dengan demikian data beban akan dipilih dan digunakan dalam peramalan beban listrik jangka panjang di Kabupaten Sampang.

**Tabel 4.** Lamda Function untuk Nilai-Nilai 0.1, 0,5 dan 0,9

Alternatif	$\alpha$ left	$\alpha$ right	Crisp Value			Normalisasi Crisp		
			$\lambda = 0.1$	$\lambda = 0.5$	$\lambda = 0.9$	$\lambda = 0.1$	$\lambda = 0.5$	$\lambda = 0.9$
Beban	0.30979	1.6115	0.316	0.9606	1.6052	0.5142	0.51	0.5092
PDB	0.20568	1.1544	0.2183	0.6801	1.1418	0.3551	0.361	0.3622
Cuaca	0.079363	0.40663	0.083	0.243	0.4056	0.1307	0.129	0.1287

**Tabel 5.** Data Beban Puncak Bulanan di GI Sampang Periode Tahun 2008 s/d 2013

No	Bulan	Data Beban Puncak Bulanan Total Transformator 1 dan 2 (MW)					
		2008	2009	2010	2011	2012	2013
1	Januari	19.3	29.2	32.0	36.0	34.1	38.0
2	Februari	28.7	29.0	33.0	34.0	40.7	40.7
3	Maret	29.1	32.3	31.0	46.0	33.7	38.2
4	April	25.8	29.7	32.4	52.0	36.2	38.0
5	Mei	29.0	32.6	34.0	34.0	40.2	36.9
6	Juni	28.6	28.4	31.9	34.0	29.3	38.0
7	Juli	28.7	30.2	33.0	32.0	36.2	39.1
8	Agustus	28.2	30.4	33.5	34.4	35.1	37.9
9	September	30.4	31.8	35.0	32.9	37.1	43.3
10	Oktober Nopember	30.6	33.9	31.8	32.7	35.8	44.5
11	Desember	29.2	31.3	32.0	33.3	37.9	45.6
12		29.6	31.0	35.0	33.4	38.5	46.7

**Pengambilan dan Pengolahan Data**

Penelitian ini mengambil data-data beban listrik historis di GI Sampang pada periode Tahun 2000-2012. GI Sampang mempunyai dua transformator daya, maka data beban yang diambil adalah jumlah data beban puncak tahunan dari transformator daya 1 dan 2. Sampel data penelitian menggunakan data beban puncak bulanan selama 6 (enam) tahun sejak Tahun 2008 s/d 2013. Tabel 5 menunjukkan data beban puncak di GI Sampang Periode Tahun 2000 s/d 2013.

Untuk memperoleh data jumlah energi listrik puncak bulanan (MWh), maka data beban puncak bulanan (MW) di GI Sampang selanjutnya dikalikan 24 jam. Tabel 6, menunjukkan data energi listrik puncak bulanan pada GI Sampang periode Tahun 2008 s/d 2013.

Data energi listrik mulai dari  $a-6$  hingga bulan  $a$  dipakai untuk peramalan energi listrik  $a+1$ . Tabel 7 menunjukkan data energi listrik per-bulan  $a-6$  sampai dengan bulan  $a$  di tahun 2008 dan 2009 yang digunakan untuk pelatihan JST Counterpropagation Termodifikasi dengan target bulan  $a+1$  di Tahun 2009.

**Pelatihan Data Energi Listrik**

Jumlah variabel data input energi listrik keseluruhan mulai dari  $a-6$  sampai dengan jam  $a$  dalam periode 2008 sampai dengan 2012 adalah 336 input. Data tersebut dipakai untuk melakukan pelatihan menggunakan JST Counterpropagation Termodifikasi dengan target pelatihan berjumlah 48 data target. Hasil pelatihan JST adalah pembobot terbaik yang akan digunakan untuk proses pengujian atau fase validasi/mapping dengan memasukkan data input beban baru. Tabel 5.20 menunjukkan parameter-parameter yang digunakan untuk

**Tabel 6.** Data Energi Listrik Puncak Bulanan di GI Sampang Periode 2008 s/d 2013

No	Bulan	Data Energi Listrik Puncak Bulanan Total Transformator 1 dan 2 (MWh)					
		2008	2009	2010	2011	2012	2013
1	Januari	463.2	700.8	768.0	864.0	818.4	912.0
2	Februari	688.8	696.0	792.0	816.0	976.8	976.8
3	Maret	689.4	775.2	744.0	1104.0	808.8	916.8
4	April	619.2	712.8	777.6	1248.0	868.8	912.0
5	Mei	696.0	782.4	816.0	816.0	964.8	885.6
6	Juni	686.4	681.6	756.6	816.0	703.2	912.0
7	Juli	688.8	724.8	792.0	768.0	864.8	938.4
8	Agustus	676.4	729.6	804.0	825.6	824.4	909.6
9	September	729.6	763.2	840.0	789.6	890.4	1039.2
10	Oktober	734.4	813.6	763.2	784.8	859.2	1068.0
11	Nopember	700.8	751.2	768.0	799.2	909.6	1094.4
12	Desember	710.4	744.0	840.0	801.6	924.0	1120.8

**Tabel 7.** Data Beban Per-Bulan untuk Pelatihan JST *Counterpropagation* Termodifikasi pada Tahun 2009

No	Bulan	a-6	a-5	a-4	a-3	a-2	a-1	a	2009
1	Januari	686.4	688.8	676.8	729.6	734.4	700.8	710.4	700.8
2	Februari	688.8	676.8	729.6	734.4	700.8	710.4	700.8	696.0
3	Maret	676.8	729.6	734.4	700.8	710.4	700.8	696.0	775.2
4	April	729.6	734.4	700.8	710.4	700.8	696.0	775.2	712.8
5	Mei	734.4	700.8	710.4	700.8	696.0	775.2	712.8	782.4
6	Juni	700.8	710.4	700.8	696.0	775.2	712.8	782.4	681.6
7	Juli	710.4	700.8	696.0	775.2	712.8	782.4	681.6	724.8
8	Agustus	700.8	696.0	775.2	712.8	782.4	681.6	724.8	729.6
9	September	696.0	775.2	712.8	782.4	681.6	724.8	729.6	763.2
10	Oktober	775.2	712.8	782.4	681.6	724.8	729.6	763.2	813.6
11	Nopember	712.8	782.4	681.6	724.8	729.6	763.2	813.6	751.2
12	Desember	782.4	681.6	724.8	729.6	763.2	813.6	751.2	744.0

melakukan proses pelatihan untuk peramalan beban pada menggunakan JST *Counterpropagation* Termodifikasi.

**Analisis Peramalan Listrik di Kabupaten Sampang**

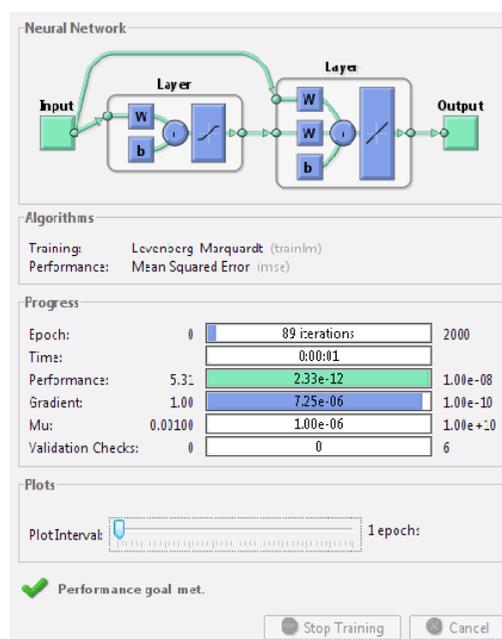
**Pelatihan JST *Counterpropagation* Termodifikasi pada Tahun 2008, 2009, 2010, 2011, dan 2012**

Tabel 8 menunjukkan parameter-parameter yang digunakan untuk melakukan proses pelatihan untuk menentukan nilai beban energi listrik dengan menggunakan JST *Counterpropagation* Termodifikasi.

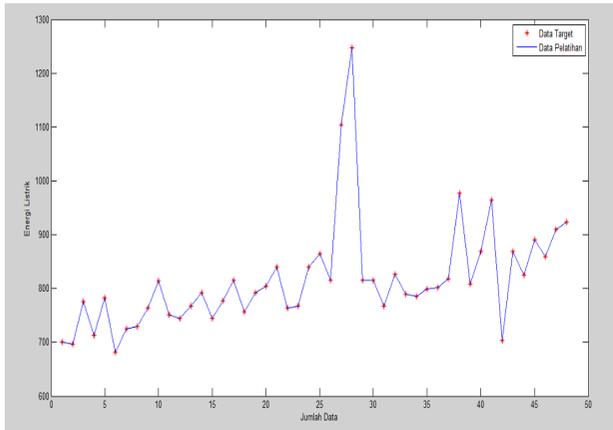
Gambar 13 menunjukkan grafik perubahan nilai energi listrik dan jumlah epoch pada proses pelatihan menggunakan JST *Counterpropagation* Termodifikasi

**Tabel 8.** Parameter Pelatihan JST *Counterpropagation* Termodifikasi pada Penentuan Peramalan Energi Listrik di Kabupaten Sampang

No.	Parameter	Nilai
1	Epoh Maksimum	2000
2	Mean Square Error Max	1e-8
3	Learning rate	0,5
4	Momentum	0,8
6	Fungsi aktivasi	tansig, purelin
7	Fungsi pelatihan	trainlm



**Gambar 13.** Grafik perubahan energi listrik dan jumlah epoch pada proses pelatihan menggunakan JST *Counterpropagation* Termodifikasi untuk peramalan energi listrik di Kabupaten Sampang (Sumber: Hasil Analisis)



**Gambar 14.** Grafik hasil pelatihan data untuk peramalan energi listrik di Kabupaten Sampang menggunakan JST *Counterpropagation* Termodifikasi (Sumber: Hasil Analisis)

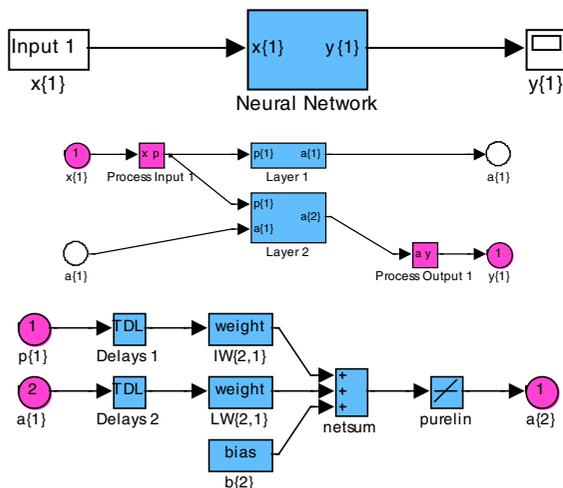
untuk menentukan energi listrik pada Kabupaten Sampang.

Gambar 14 menunjukkan grafik hasil pelatihan data untuk peramalan energi listrik menggunakan JST *Counterpropagation* Termodifikasi.

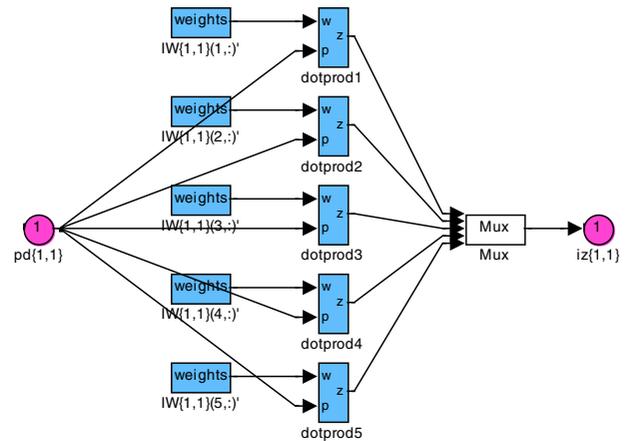
Gambar 15 menunjukkan hubungan antara input dan output pada pelatihan data untuk peramalan energi listrik di Kabupaten Sampang menggunakan JST *Counterpropagation* Termodifikasi.

Gambar 16 menunjukkan struktur pembobot terbaik hasil pelatihan menggunakan JST *Counterpropagation* Termodifikasi untuk peramalan energi listrik di GI Sampang dengan 5 unit tersembunyi.

Berdasarkan hasil pelatihan diperoleh nilai mean average percentage error (MAPE) hasil pelatihan antara beban aktual dan output pelatihan menggunakan JST



**Gambar 15.** Hubungan antara lapis input dan output pada pelatihan data untuk peramalan energi listrik di Kabupaten Sampang menggunakan JST *Counterpropagation* Termodifikasi (Sumber: Hasil Analisis)



**Gambar 16.** Struktur pembobot terbaik hasil pelatihan untuk peramalan energi listrik di Kabupaten Sampang menggunakan JST *Counterpropagation* Termodifikasi dengan 5 Unit Tersembunyi (Sumber: Hasil Analisis)

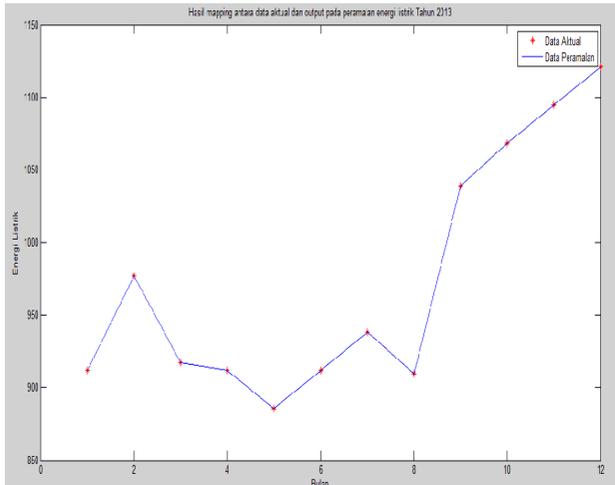
*Counterpropagation* Termodifikasi sebesar 0 atau 0%. Pelatihan ini konvergen pada epoch ke-89 dan jumlah unit pada lapis tersembunyi adalah 5 neuron.

**Hasil Mapping Peramalan Energi Listrik Puncak Bulanan di Kabupaten Sampang Tahun 2013**

Hasil pelatihan JST adalah pembobot terbaik yang akan digunakan untuk proses pengujian atau fase validasi/mapping dengan memasukkan data input energi baru. Tahap ini merupakan fase identifikasi yang bertujuan untuk menentukan hasil keputusan JST. Data pengujian adalah data energi listrik puncak bulan  $a-6$  sampai dengan bulan  $a$  di tahun 2012 dan 2013 berjumlah 84 input. Output peramalan energi listrik adalah bulan  $a+1$  pada tahun 2013 berjumlah 12 data. Tabel 9 menunjukkan perbandingan antara data aktual dan output hasil pengujian data energi listrik, pada peramalan energi listrik 2013.

**Tabel 9.** Perbandingan antara Data Aktual dan Output Hasil Pengujian Data Energi Listrik pada Peramalan Energi Listrik di Kabupaten Sampang Tahun 2013

No	Bulan	Tahun	Data Aktual	Data Output	Error
1	Januari	2013	912.00	912.00	0.00
2	Februari	2013	976.80	976.80	0.00
3	Maret	2013	916.80	916.80	0.00
4	April	2013	912.00	912.00	0.00
5	Mei	2013	885.60	885.60	0.00
6	Juni	2013	912.00	912.00	0.00
7	Juli	2013	938.40	938.40	0.00
8	Agustus	2013	909.60	909.60	0.00
9	September	2013	1039.20	1039.20	0.00
10	Oktober	2013	1068.00	1068.00	0.00
11	Nopember	2013	1094.40	1094.40	0.00
12	Desember	2013	1120.80	1120.80	0.00
				MAPE	0.00



**Gambar 17.** Hasil mapping antara data aktual dan output pada peramalan energi listrik di Kabupaten Sampang Tahun 2013

Gambar 17 menunjukkan grafik hasil mapping antara beban aktual dan output energi listrik pada peramalan energi listrik di Kabupaten Sampang Tahun 2013.

Berdasarkan Tabel 9 diperoleh bahwa nilai MAPE antara data aktual dan output hasil pengujian data pada peramalan energi listrik Tahun 2013 di Kabupaten Sampang adalah 0 atau 0%.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Metode *Fuzzy Analytic Hierarchy Process* digunakan untuk menentukan variabel data yang akan dipilih sebagai input peramalan menggunakan *JST Counterpropagation* Termodifikasi. Hasil penggunaan Metode *Fuzzy Analytic Hierarchy Process* menunjukkan bahwa urutan nilai terbesar atau faktor yang paling berpengaruh pada peramalan beban adalah; data beban, data PDB dan data cuaca, sehingga data beban dipakai sebagai input peramalan beban menggunakan *JST Counterpropagation* Termodifikasi.
2. Hasil pelatihan antara data energi aktual dan output pelatihan menggunakan *JST Counterpropagation* Termodifikasi pada GI Sampang sebesar 0 atau 0%. Pelatihan ini konvergen pada epoch ke-89 dan jumlah unit pada lapis tersembunyi adalah 5 neuron.
3. Nilai MAPE antara data aktual dan output hasil pengujian data pada peramalan energi listrik Tahun 2013 di GI Sampang adalah 0 atau 0%.
4. Output hasil peramalan energi listrik tahun 2013 di GI Sampang sudah memenuhi syarat, karena masih di bawah nilai (MAPE) sebesar 0,05 atau 5%. Dengan demikian *JST Counterpropagation* Termodifikasi dapat digunakan untuk melakukan peramalan energi listrik jangka panjang di Kabupaten Sampang.

### Saran

Untuk mendapatkan hasil peramalan beban listrik dengan error yang lebih kecil sebaiknya data beban historis di Kabupaten Sampang dan Madura pada umumnya harus lebih banyak. Oleh sebab itu PT. PLN P3B Jawa-Bali, APP Surabaya harus mempunyai manajemen penyimpanan arsip data beban historis GI-GI seluruh kabupaten di Madura yang baik dan teratur minimal 10 tahun yang lalu. Disamping itu, untuk memperoleh hasil lebih baik penelitian ini juga dapat dikembangkan menggunakan metode kecerdasan buatan lain.

### DAFTAR PUSTAKA

- 1 Jie Bao. 2000. **Short-term Load Forecasting based on Neural Network and Moving Average**. Artificial Intelligent Lab. Department of Computer Science. Iowa State University. Ames, IA, 50010.
- 2 Truong Quang, Dang Khoa, Pham Tu Oanh. 2002. **Application of Elman and Neural Wavelet Network to Long Term Load Forecasting**. Faculty of Electrical and Electronics Engineering. HCMUT. Vietnam.
- 3 Arief Heru Kuncoro, Zuhail, Rinaldy Dalimi. 2007. **Long Term Load Forecasting on Java-Madura-Bali Electrical System Using Artificial Neural Network Method**. International Conference on Advance in Nuclear Science and Engineering in Conjunction with LKTSN 2007 (177-181).
- 4 Hong Chen, Claudio A. Canizares, and Ajit Singh. 1998. **ANN-based Short-Term Load Forecasting in Electricity Market**. Department of Electrical and Computer Engineering. University of Waterloo. Canada.
- 5 K.Y. Lee, Senior Member IEEE, Y.T. Cha, Student Member IEEE, J.H. Park, Member IEEE. 1992. **Short Term Load Forecasting Using Artificial Neural Network**. IEEE Transaction on Power System: Vol. 7, No. 1, February 1992.
- 6 G.A. Adepoju, S.O.A. Ogunjuyigbe, dan K.O. Alawode. 2004. **Application of Neural Network to Load Forecasting in Nigeria Electrical Power System**. Department of Electronic and Electrical Engineering. Ladoko Akintola University of Technology. Nigeria.
- 7 Ummuhan Basaran Filik, Mehmet Kurban. 2007. **A New Approach for the Short-Term Load Forecasting with Autoregressive and Artificial Neural Network Models**. International Journal of Computation Intelligence Research: ISSN 0973-1873. Vol. 3, No. 1 (2007), pp.66-71.
- 8 Z. Xu, Z.Y. Dong, W.Q.Liu. 2002. **Neural Network Models for Electricity Market Forecasting**. School of Information Technology and Electrical Engineering, University of Queensland. St Lucia QLD 4072. Australia.
- 9 Myint Myint Yi, Khin Sandar Linn, and Marlar Kyaw. 2008. **Implementation of Neural Network Based Electricity Load Forecasting**. Prooceding of World Academy of Science, Engineering, and Technology: Volume 32. ISSN 2070. 3740. August 2008.
- 10 Sanjib Misra dan Sarat Kumar Patra. Member IEEE. 2001. **Short Term Load Forecasting using Novel Recurrent Neural Network**. NIT Rourkela. India.
- 11 Mario Costa, Eros Pasero, Feredico Piglione, Daniela Radasanu. 1998. **Short Term Load Forecasting Using Synchronously Operated Recurrent Neural Network**. Department of Electronic Politecnico di Torino. Italy.
- 12 Tarik Rashid, B.Q. Huang, M-T, Kechadi and B.Gleeson 2007. **Auto-regressive Recurrent Neural Network Approach for Electricity Load Forecasting**. International Journal of Computation Intellegence: 3;1. Copyright www.waset.org Winter.
- 13 Subiyanto. 2000. **Aplikasi Jaringan Saraf Tiruan sebagai Metode Alternatif Prakiraan Beban Jangka Pendek**, Majalah Teknik Elektro: Nomor 29. Tahun VI. Januari 2000.

- 14 Fany Aditama, Mauridy Hery Purnomo, dan Adi Soeprijanto. 2008. **Peramalan Energi Listrik Jangka Menengah dengan Menggunakan Fuzzy Analytic Hierarchy Process dan Constructive Backpropagation (Studi Kasus di Area IV Wilayah P3B)**. Seminar Nasional Pascasarjana (SNPs) VIII ITS. 13 Agustus 2008.
- 15 Amirullah dan Saidah. 2009. **Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek pada Hari Libur Islam di Madura Menggunakan Metode Jaring Saraf Tiruan Backpropagation**. Prosiding Seminar Hasil Penelitian Dosen Muda 2008; kerjasama antara ITS dan DP2M Dikti.
- 16 Haryono Subiyakto. 1995. **Statistika (Inferen) Untuk Bisnis. Edisi Ke-I. Cetakan Pertama. April 1995**. Bagian Penerbitan Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi YKPN. Yogyakarta.
- 17 Imam Ghozali. 2007. **Aplikasi Analisis Multivariate, dengan Program SPSS**. Cetakan IV: Edisi April 2007. Badan Penerbit Universitas Diponegoro. Semarang.
- 18 Mauridhi Hery Purnomo dan Agus Kurniawan. 2006, **Supervised Neural Network dan Aplikasinya**, Edisi Pertama, Yogyakarta, Graha Ilmu.
- 19 **Serving Quality and Reability**, Statistik PLN Jawa-Bali, Tahun 2010.
- 20 Haryono Subiyakto, 1995, **Statistika (Inferen) Untuk Bisnis**, Edisi Ke-I, Cetakan Pertama, April 1995, Bagian Penerbitan Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi YKPN, Yogyakarta.

# Bi-axial Bending Strength Analysis on Single Hull Bulk Carrier due to Collision

Muhammad Zubair Muis Alie<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lecturer-Naval Architecture and Ocean Engineering Department, Engineering Faculty, Hasanuddin University, Makassar

## ABSTRAK

Kekuatan memanjang adalah hal yang terpenting untuk menjamin keselamatan kapal tidak hanya pada kondisi utuh tetapi juga pada kondisi rusak. Dalam hal ini, ketika kerusakan tubrukan terjadi, penampang penumpu lambung dianalisis sebagai persoalan lentur dua arah meskipun hanya momen lentur vertikal atau horisontal bekerja pada penampang. Oleh karena itu, lentur dua arah diinvestigasi dalam penelitian ini dengan mempertimbangkan kapal bulk carrier berlambung tunggal sebagai obyek. Model penuh dari penampang lambung dibuat untuk mengetahui pengaruh dari perputaran sumbu netral. Kerusakan tubrukan diasumsikan terletak secara tidak simetris pada sisi lambung kapal bulk carrier. Pendekatan incremental digunakan untuk menyelesaikan lentur dua arah termasuk pengaruh dari perputaran sumbu netral. Hasilnya ditunjukkan dalam bentuk interaksi hubungan antara momen lentur vertikal dan horisontal. Diperoleh bahwa kerusakan tubrukan memiliki pengaruh signifikan terhadap perilaku lentur dua arah, juga pengaruh dari perputaran sumbu netral.

**Kata kunci:** Kapal bulk carrier, penumpu lambung, tubrukan, lentur dua arah

## ABSTRACT

The longitudinal strength is the most important issue to ensure the safety of ship not only in the intact but also in the damage condition. In this case, when the collision damaged is appeared, the hull girder cross section is analyzed as a bi-axial bending problem even when only the vertical or horizontal bending moment is applied to the cross section. Therefore, the bi-axial bending is investigated in this study taking the single hull bulk carrier as the object of the ship into account. The full model of the hull girder cross section is modeled to know the influence of the rotation of the neutral axis. The collision damaged is assumed to be located asymmetrically on the side of the single hull bulk carrier. The incremental approach is applied to solve the bi-axial bending problem including the effect of the rotation of the neutral axis. The result is shown in term of the interaction between vertical and horizontal bending moment relationship. It is found that the collision damaged has significant influence toward bi-axial bending behavior; also the effect of the rotation of the neutral axis.

**Key words:** Bulk Carrier, hull girder, collision, bi-axial bending

## INTRODUCTION

The longitudinal strength is the most fundamental strength to ensure the safety of ships not only in the intact but also in the damage condition. In this regard, when a hull girder cross section is symmetric toward the centerline and subjected to pure vertical bending moment, the neutral axis is always horizontal and moves only vertically during the progressive collapse behavior. On the other hand, when the cross section is damaged at asymmetric positions, the neutral axis rotates. Both rotation and translation need to be taken into account and the problem needs to be treated as a biaxial bending problem.

The use of incremental approach is more precisional compare to another approach due to some reasons. Therefore, in this study, an incremental formulation of the progressive bending collapse behavior of ship hull girder with damages is presented based on the Smith's method. The biaxial bending moment-curvature relationship is expressed in term of the tangential moduli following the original formulation by Smith (1977). The explicit

expressions of the position of neutral axis for cumulative values of stress and that for strain increment are given. Solution procedures for several loading patterns including the post ultimate strength behavior under prescribed biaxial moment loading are presented.

## THEORY

As a general case, damage due to collision or grounding is assumed to be formed at an asymmetric position of a hull girder cross section as shown in Figure 1. The y and z coordinates with the origin at the bottom keel are defined as shown in Figure 1. Assuming that the cross section remains plane, the axial strain  $\epsilon_i(y_i, z_i)$  at the *i*-th structural element caused by the horizontal curvature  $\phi_H$  and  $\phi_V$  can be expressed as

$$\epsilon_i(y_i, z_i) = \epsilon_0 + y_i \phi_H + z_i \phi_V \dots\dots\dots (1)$$

Where  $\epsilon_0$  is the axial strain at the origin O. The axial stress  $\sigma_i$  corresponding to the axial strain  $\epsilon_i$  is given by the average stress-average strain relationship calculated

in advance for the individual elements as illustrated in Figure 2. The average stress-average strain relationship with consideration of buckling and yielding is generally a nonlinear function of strain and here expressed as

$$\sigma = f_i(\epsilon) \dots\dots\dots (2)$$

where  $f_i(0) = 0$

The axial force  $P$ , the vertical bending moment  $M_V$ , and the horizontal bending moment  $M_H$  can be obtained by integrating axial stresses over the intact part of the cross section as

$$P = \sum_{i=1}^N \sigma_i A_i \equiv 0 \dots\dots\dots (3)$$

$$M_H = \sum_{i=1}^N \sigma_i y_i A_i \dots\dots\dots (4)$$

$$M_V = \sum_{i=1}^N \sigma_i z_i A_i \dots\dots\dots (5)$$

Where  $N$  is the number of intact elements and  $A_i$  is a cross section of the  $i$ -th element.

An essential condition for the progressive collapse analysis of the hull girder under longitudinal bending is to satisfy the zero-axial force condition of Equation (3). Substituting Equation (1) and (2) into Equations (3)~(5), a set of nonlinear simultaneous equations with respect to axial strain  $\epsilon_0$  and curvatures  $\phi_H$  and  $\phi_V$  is obtained. By solving these equations, the relationship between cross-sectional forces and deformations can be obtained. The location of neutral axis in the  $y$ - $z$  plane is given by the following equation of a straight line:

$$\epsilon_0 + y_i \phi_H + z_i \phi_V = 0 \dots\dots\dots (6)$$

To solve the nonlinear Equations (3) ~ (5), an incremental approach is employed. Denoting the tangential stiffness obtained as a slope of the average stress-average strain relationship of the  $i$ -th element by  $D_i$  (Figure 2), the incremental relationship of axial stress and strain can be expressed as

$$\Delta\sigma = D_i \Delta\epsilon \left( D_i = \frac{df_i}{d\epsilon} \right) \dots\dots\dots (7)$$

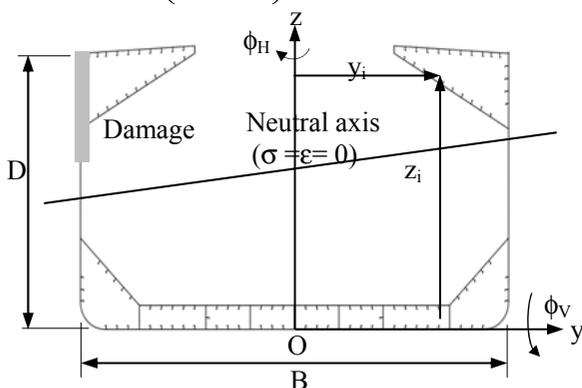


Figure 1. Cross section with damage

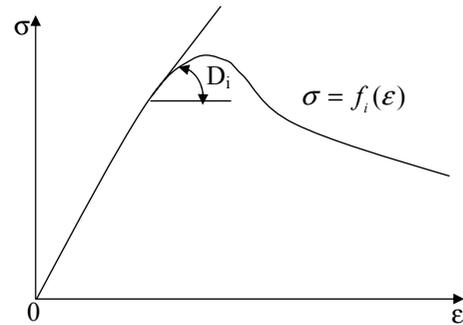


Figure 2. Average stress-average strain relationship of a structural element

Using Equation (1) and (7), the incremental form of Equations (3)~(5) can be given by

$$\begin{Bmatrix} \Delta P = 0 \\ \Delta M_H \\ \Delta M_V \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{D}_{AA} & \bar{D}_{AH} & \bar{D}_{AV} \\ \bar{D}_{HA} & \bar{D}_{HH} & \bar{D}_{HV} \\ \bar{D}_{VA} & \bar{D}_{VH} & \bar{D}_{VV} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta\epsilon_0 \\ \Delta\phi_H \\ \Delta\phi_V \end{Bmatrix} \dots\dots (8)$$

Where

$$\bar{D}_{AA} = \sum_{i=1}^N D_i A_i,$$

$$\bar{D}_{AH} = \bar{D}_{HA} = \sum_{i=1}^N D_i y_i A_i$$

$$\bar{D}_{HH} = \sum_{i=1}^N D_i y_i^2 A_i$$

$$\bar{D}_{AV} = \bar{D}_{VA} = \sum_{i=1}^N D_i z_i A_i$$

$$\bar{D}_{VV} = \sum_{i=1}^N D_i z_i^2 A_i$$

$$\bar{D}_{HV} = \bar{D}_{VH} = \sum_{i=1}^N D_i y_i z_i A_i \dots\dots\dots (9)$$

The results of the  $n+1$ -th load step are given by adding the increments obtained by Equation (8) to the result of the  $n$ -th load step as

$$\begin{aligned} P^{n+1} &= P^n + \Delta P = 0, & \epsilon_0^{n+1} &= \epsilon_0^n + \Delta\epsilon_0 \\ M_H^{n+1} &= M_H^n + \Delta M_H, & \phi_H^{n+1} &= \phi_H^n + \Delta\phi_H \\ M_V^{n+1} &= M_V^n + \Delta M_V, & \phi_V^{n+1} &= \phi_V^n + \Delta\phi_V \end{aligned} \dots\dots (10)$$

The stiffness Equation (8) can be simplified by the formulation with respect to the variables defined for the instantaneous neutral axes as described in the following. The expression of the axial force increment  $\Delta P$  of Equation (8) can be rearranged in the form:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \bar{D}_{AA} \Delta \varepsilon_0 + \bar{D}_{AH} \Delta \phi_H + \bar{D}_{AV} \Delta \phi_V \\ &= \sum_{i=1}^N D_i (\Delta \varepsilon_0 + y_i \Delta \phi_H + z_i \Delta \phi_V) A_i \\ &= \sum_{i=1}^N D_i \{ \Delta \varepsilon_G + (y_i - y_G) \Delta \phi_H + (z_i - z_G) \Delta \phi_V \} A_i \dots\dots (11) \end{aligned}$$

Where

$$\Delta \varepsilon_G = \Delta \varepsilon_0 + y_G \Delta \phi_H + z_G \Delta \phi_V \dots\dots\dots (12)$$

$y_G$  and  $z_G$  are the coordinates of the point G in Figure 3 and  $\Delta \varepsilon_G$  is the axial strain increment at the point G caused by  $\Delta \varepsilon_0$ ,  $\Delta \phi_H$  and  $\Delta \phi_V$ . When  $y_G$  and  $z_G$  are given by

$$y_G = \frac{\left( \sum_{i=1}^N y_i D_i A_i \right)}{\left( \sum_{i=1}^N D_i A_i \right)} \dots\dots\dots (13)$$

$$z_G = \frac{\left( \sum_{i=1}^N z_i D_i A_i \right)}{\left( \sum_{i=1}^N D_i A_i \right)} \dots\dots\dots (14)$$

Equation (11) can be simply expressed as

$$\Delta P = \left( \sum_{i=1}^N D_i A_i \right) \Delta \varepsilon_G \dots\dots\dots (15)$$

Equation (15) means that under pure longitudinal bending, i.e. when  $\Delta P = 0$ , no axial strain is produced at the point G for any combination of horizontal and vertical curvature increments. The coordinates ( $y_G$ ,  $z_G$ ) therefore give the center position of instantaneous neutral axes for stress increments and could be calculated by replacing  $y_i$  and  $z_i$  in Equation (9) by  $(y_i - y_G) + y_G$  and  $(z_i - z_G) + z_G$ , respectively, and using  $\Delta \varepsilon_G$  of Equations (12), (8) and (9) can be given in the form

$$\begin{Bmatrix} \Delta P = 0 \\ \Delta M_H \\ \Delta M_V \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{AA} & 0 & 0 \\ 0 & D_{HH} & D_{HV} \\ 0 & D_{VH} & D_{VV} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta \varepsilon_G \\ \Delta \phi_H \\ \Delta \phi_V \end{Bmatrix} \dots\dots (16)$$

Where

$$D_{AA} = \sum_{i=1}^N D_i A_i,$$

$$D_{HV} = D_{VH} = \sum_{i=1}^N D_i (y_i - y_G)(z_i - z_G) A_i$$

$$\begin{aligned} D_{HH} &= \sum_{i=1}^N D_i (y_i - y_G)^2 A_i, \\ D_{VV} &= \sum_{i=1}^N D_i (z_i - z_G)^2 A_i \dots\dots\dots (17) \end{aligned}$$

Using the coefficients of Equation (17), the incremental relationship of the biaxial bending moments and curvatures can be given by

$$\begin{Bmatrix} \Delta M_H \\ \Delta M_V \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{HH} & D_{HV} \\ D_{VH} & D_{VV} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta \phi_H \\ \Delta \phi_V \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (18)$$

irrespective of the shape of cross section, distribution of tangential stiffness  $D_i$ , the location and damage extent.

Smith (1977) employed the pure vertical approach without iteration in each load step, taking the sufficiently small increment of curvature. When an incremental-iterative approach is applied to obtain the convergence of solutions in each load step until the acceptable level of accuracy is achieved, the increment of curvatures are expressed as the sum of sub-increments within the load step.

It is generally recommended to use the pure incremental approach with sufficiently small increment rather than the incremental-iterative approach, since in the progressive collapse behavior unloading may take place in the collapse element due to the shift and rotation of neutral axes. When unloading occurs, Equation (2) must be changed to that for unloading behavior. Once the curvature increments  $\Delta \phi_H$  and  $\Delta \phi_V$  at the current load step are obtained, the axial strain increment  $\Delta \varepsilon_0$  can be calculated by Equation (12) considering  $\Delta \varepsilon_G = 0$ . Substituting the cumulative values of  $\phi_H$ ,  $\Delta \phi_V$  and  $\varepsilon_0$  into Equation (6), the position of neutral axis is determined.

**METHODS**

The incremental form of biaxial bending problem, Equation (18), can be applied to the strength analysis of a hull girder under following loading and/or constraint conditions:

**CASE 1: Hull girder under prescribed biaxial curvatures**

The vertical and horizontal curvatures are applied to the cross section with the prescribed ratio of  $\Delta \phi_H/\Delta \phi_V$ .

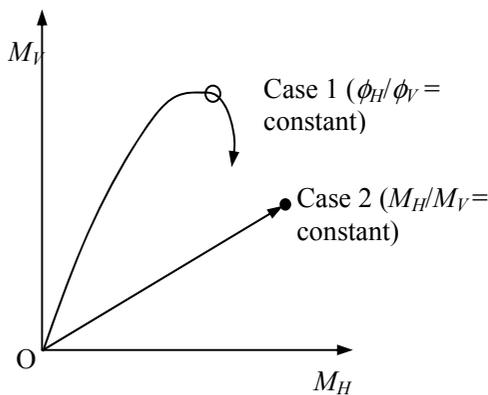
$$\begin{Bmatrix} \Delta M_H \\ \Delta M_V \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{HH} & D_{HV} \\ D_{VH} & D_{VV} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta \phi_H^0 \\ \Delta \phi_V^0 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (19)$$

The bi-axial bending strength can be found by tracing  $M_V - M_H$  curve.

Because of the progressive collapse of structural elements and the resulting change in the stiffness parameters  $D$ , the bending moment ratio  $M_V/M_H$  changes nonlinearly even when the applied curvature ratio  $\Delta\phi_H/\Delta\phi_V$  is constant, as shown in Figure 3. The residual strength is obtained by detecting the  $M_V$ - $M_H$  point at the maximum distance from the origin, as shown by the hollow circle in Figure 3.

**CASE 2: Hull girder under proportional biaxial moments**

Biaxial bending moments are applied to the cross section with a constant ratio of  $M_V$  and  $M_H$ .



**Figure 3.** Loci of the biaxial bending moment.

One of the curvatures,  $\phi_H$  or  $\phi_V$ , is taken as a controlling parameter. For example, when  $\phi_V$  is employed

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} \alpha \Delta M_V \\ \Delta M_V \end{Bmatrix} &= \begin{bmatrix} D_{HH} & D_{HV} \\ D_{VH} & D_{VV} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta \phi_H \\ \Delta \phi_V^0 \end{Bmatrix} \\ \therefore \alpha &= \frac{M_H}{M_V} \end{aligned} \dots\dots\dots (20)$$

The solutions are

$$\begin{aligned} \Delta M_V &= \frac{\Delta M_H}{\alpha} = \frac{D_{HH} D_{VV} - D_{HV}^2}{D_{HH} - \alpha D_{VH}} \Delta \phi_V^0 \\ \Delta \phi_H &= \frac{\alpha D_{VV} - D_{HV}}{D_{HH} - \alpha D_{VH}} \Delta \phi_V^0 \end{aligned} \dots\dots\dots (21)$$

When the prescribed ratio of  $\Delta M_H/\Delta M_V$  is constant,  $M_V$  and  $M_H$  change linearly as shown in Figure 3. The residual strength can be directly obtained by the peak value of  $M_V$  or  $M_H$ . The reduction of the post ultimate capacity can be also calculated. The complicated procedures of detecting the ultimate capacity, required in Case 3 or in the incremental-iterative approach using secant-moduli, are not needed.

The analysis procedures for all the analysis cases can be summarized as

- (1) Subdivided the cross-section into elements composed of stiffener and attached plating.
- (2) Derive the average stress-average strain relationship of individual elements, Equation (2), considering the influence of buckling and yielding.
- (3) Derive the tangential axial stiffness of individual elements  $D_i$ , Equation (7), from the average stress-average strain curve at the present strain.
- (4) Calculate the center position of instantaneous neutral axis  $y_G$  and  $z_G$ , Equation (13) and (14).
- (5) Evaluate the flexural stiffness of the cross section with respect to the instantaneous neutral axis, Equation (18).
- (6) Calculate the unknown increments in individual elements from the curvature and/or bending moment under specified condition, Equations (19)~(21).
- (7) Calculate the strain increment in individual elements from the curvature increment, and their stress increments using the slope of average stress-average strain curve.
- (8) Add the obtained increments of curvature, bending moment as well as strains and stresses in the elements to their cumulative values, Equations (1) and (10).
- (9) Calculate the position of neutral axis for the cumulative values of stress and strain, Equation (6).
- (10) Proceed to the next incremental step.

**RESULT AND DISCUSSION**

Bi-axial bending analysis ship hull girders with collision damage is performed using the Smith’s method considering the influence of the rotation of neutral axis. The program code HULLST, developed by Yao and Nikolov (1992), is used with some modification in the formulation and solution procedures. Two single hull bulk carriers (Ship B1 and Ship B4) are taken as the example of the ship as shown in table 1.

The damage of the upper part of side shell due to collision is assumed. The vertical damage extent is taken as 10%, 20%, 40% and 70% of the depth D for both bulk carrier and tanker. The horizontal damage extent is taken as B/16, and the same value is assumed for all damaged cases. In the Draft Harmonized Common Structural Rules for bulk carriers and tankers (IACS 2013), also in the [4] and [5], the specified damage extent is 70% of depth D and B/16. Some smaller values of the damage depth are considered for the purpose of comparison. The damaged

**Table 1.** Subject ships

Ship	B1	B4
L (mm)	217,000	219,000
B (mm)	32,236	32,240
D (mm)	18,300	19,900
Design criteria	Pre-IACS UR	IACS CSR-B

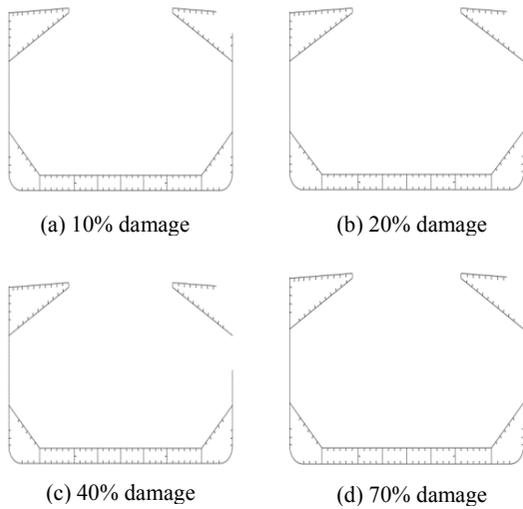


Figure 4. Single Hull Bulk Carriers (Ship B1)

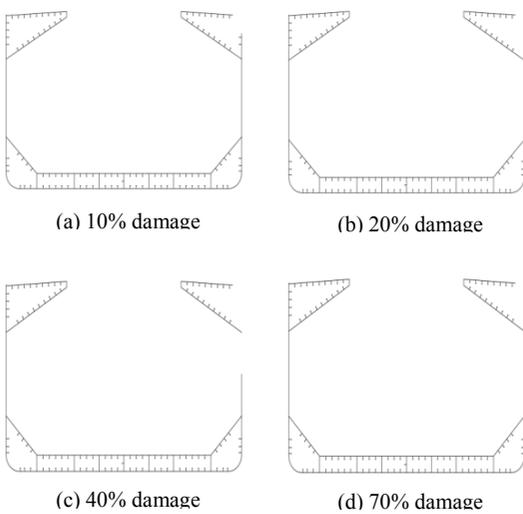


Figure 5. Single Hull Bulk Carrier (Ship B4)

cross sections of Ships B1 and B4 are respectively illustrated in Figures 4 and 5. The finite elements in the damaged area are completely removed assuming the complete loss of stiffness and strength.

After ships suffered the damage due to collision, grounding, flooding and heeling may take place, and the hull girder is subjected to biaxial bending, the ultimate strength interaction relationship under biaxial bending moment is therefore necessary for the strength assessment of damage hull girders. There are two basic approaches to obtain the ultimate interaction curves; one is the proportional curvature method where  $\Delta\phi_H^0/\Delta\phi_V^0$  is constant in CASE 1 and the other is the proportional moment method where  $\Delta M_H/\Delta M_V$  is constant in CASE 2. Both methods were applied to Ship B1 with 70% damage as an example. The moment loading method is applied with 70% damage in Ship B4.

The ultimate strength interaction curve obtained by CASE 2 analysis is plotted by solid line in Figure 6. The horizontal and vertical bending moments are increased proportionally as shown by arrow. On the other hand, the chain dotted lines show the horizontal/vertical moment paths for different curvature ratio obtained by CASE 1 analysis. The biaxial moment ratio varies along the path with the change of tangential stiffness of the cross section. It is found that the solid curve gives the accurate envelope the horizontal/vertical moment paths and both analysis methods give the almost identical ultimate strength interaction curve. CASE 2 is considered to be more useful for the calculation of the ultimate strength interaction curve and strength assessment, since the applied moment ratio can be easily controlled.

The dashed line in Figure 6 shows the ultimate strength interaction curve of the intact cross section. The reduction of the ultimate strength due to damage is found to be larger when the bending stresses due to biaxial moment act in the same direction at the damage cross region.

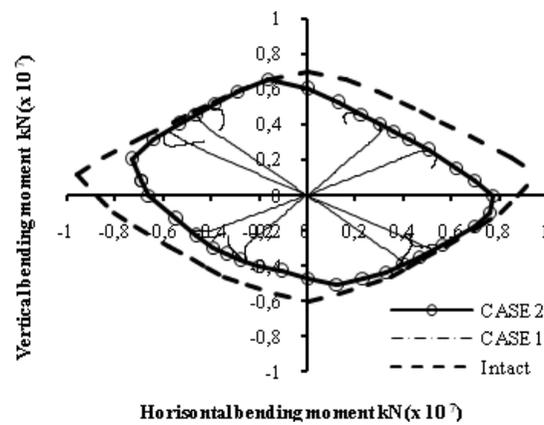


Figure (a). Ship B1

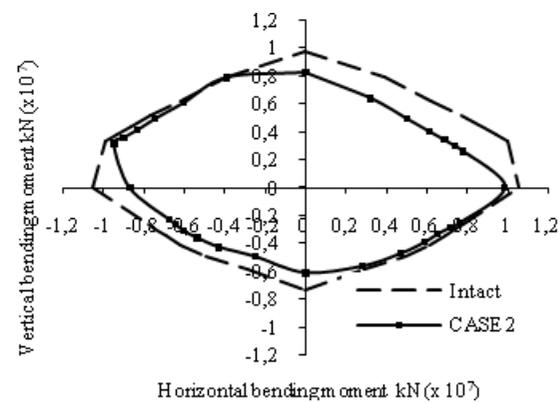


Figure (b). Ship B4

Figure 6. Vertical and horizontal bending moment interaction diagram curve

## CONCLUSION

Biaxial bending strength analysis of bulk carriers with collision damages has been performed using the newly presented incremental formulation of ship's hull girder based on the Smith's method. The explicit expressions of the position of the neutral axis including its rotation and some relevant solutions procedures have been given.

The following conclusions can be drawn:

1. For the case of subject ships taken in this study, the effect of rotation of neutralaxis on the estimate of the residual hull girder strength is about 8% at maximum for bulk carrier.
2. Tangential stiffnessformulation considering the elastic unloading of collapsed elements should be used for the rational estimate of the progressive collapse behavior of a ship's hull girder.
3. The biaxial bending interaction relationship obtained by applying the proportional biaxial moment is in good agreement with that is predicted by applying the proportional biaxial curvature.

## REFERENCES

1. Smith, CS. **Influence of Local Compression Failure on Ultimate Longitudinal Strength of a Ship's Hull.** *ProcIntSym on Practical Design of Shipbuilding*, PRADS, Tokyo, Japan, 1977; 73–79.
2. Yao, T. and Nikolov, P.I. **Progressive Collapse Analysis of a Ship's Hull Girder under Longitudinal Bending (2nd Report).** *J Soc. Naval Arch. of Japan*, 1992; Vol 172, 437–446.
3. IACS. **Common Structural Rules for Bulk Carriers and Double Hull Oil Tankers.**, 2013.
4. International Ship and Offshore Structure Congress. **Collision and Grounding.** Southampton, UK, 2006, Vol 2.
5. International Ship and Offshore Structure Congress. **Damage Assessment after Accidental Events.** Seoul, Korea, 2009, Vol 2.

# Teknologi Informasi sebagai Sarana Peningkatan Produktivitas

Darti Djuhari<sup>1</sup>, Leila Salawati Chairat<sup>2</sup>, dan Hariyanto<sup>3</sup>

STIE Malangkuçeçwara Malang  
Email: <sup>1</sup> dartidjuhari@yahoo.com

<sup>2</sup> Lsalawati@yahoo.co.id

<sup>3</sup> hariyanto@stie-mce.ac.id

HP. 081 334 332 812

## ABSTRAK

Artikel ini merupakan hasil kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang bermitra dengan pengerajin kelompok di Desa Kreweh-Gunung Rejo – Singosari Malang. Barang hasil produksi pengerajin ini adalah kelompok yang berasal dari kayu Mahoni atau kayu Sengon. Hasil produksinya dijual ke pengusaha di Surabaya untuk diolah lebih lanjut sampai barang tersebut siap dijual ke konsumen. Permasalahan yang dihadapi oleh pengerajin ini adalah: (1) mereka selalu terlambat dalam mengikuti mode yang diinginkan masyarakat; (2) kuantitas dan kualitas hasil produksi tergantung pada mitra usaha di Surabaya; (3) terbatasnya pangsa pasar untuk menjual hasil produksi karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan dalam teknologi informasi; (4) tidak membuat catatan terhadap transaksi usaha; (5) serta tidak memiliki tenaga tetap untuk mengukir kelompok. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dilakukan hal-hal berikut: (1) menyediakan komputer dan memberi pelatihan dan pendampingan; (2) memberi pelatihan dan pendampingan akuntansi; (3) menyediakan peralatan produksi yang belum dimiliki, serta (4) mengadakan pelatihan ukir untuk masyarakat sekitarnya agar diperoleh tenaga tetap.

**Kata kunci:** teknologi informasi, kelompok, produktivitas

## ABSTRACT

This article is the result of community service activities cooperated with Desa Kreweh-Gunung Rejo craftsmen. The craftsmen produce "kelompok" from mahogany and sengon wood. Then, they sell it to customers in Surabaya. The problems are as follows: (1) Outdated "kelompok"; (2) the quantity and the quality of "kelompok" are depended on counter party in Surabaya; (3) limited market segment due to lack of knowledge and IT; (4) unrecorded activity; (5) No permanent high skill craftsmen. To overcome the stated problems above, we do several steps as follows: (1) Providing the infrastructure, such as computers; training and supervising on IT; (2) Training and supervising on accountancy; (3) providing crafts tools, and (4) training a society in that area to have more craftsmen.

**Key words:** Information Technology, kelompok, productivity

## PENDAHULUAN

Setiap perusahaan yang memproduksi barang dan jasa tentunya menginginkan hasil produksi dan omzetnya semakin lama semakin meningkat. Untuk meningkatkan aktivitas itu dibutuhkan kerja keras, ketekunan, ketersediaan sarana prasarana, kemampuan dalam manajerial, serta kemampuan di bidang teknologi informasi. Hasil yang akan diperoleh dengan berbagai pengetahuan yang dimiliki serta ketersediaan sarana prasarana nantinya akan meningkatkan produktivitas.

Peningkatan produktivitas dari suatu usaha dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain dengan memperbaiki metode kerja, dengan memberi motivasi kepada pekerja, atau dengan penyediaan sarana dan prasarana. Risma A. Simanjuntak & Hernita (1) mengungkapkan bahwa peningkatan produktivitas dapat dilakukan melalui penerapan metode kerja yang efektif, yaitu melalui penataan lingkungan kerja dengan cara menghilangkan gerakan-gerakan yang tidak perlu. Selain itu produktivitas dapat diperoleh apabila pengusaha mampu menguasai teknologi informasi dengan baik.

Wardiana (2) mengungkapkan bahwa dengan mengikuti perkembangan teknologi informasi maka kinerja dapat ditingkatkan yang akhirnya juga dapat meningkatkan produktivitas. Peningkatan produktivitas akan memberi manfaat sebagai berikut: (1) Bagi Perusahaan: Kualitas Barang/Jasa Tinggi, Daya Saing Perusahaan Tinggi, Usaha Berkembang & Lestari, Hubungan Industrial Tercapai, Perluasan Kesempatan Berusaha & Kerja; (2) Bagi Pekerja: MDE Meningkat, Pendapatan & Jamsos Meningkat, Standar Hidup Terpenuhi, Harkat & Martabat Tinggi; (3) Bagi Pemerintah: Daya Saing Nasional Meningkat, Mendorong Pertumbuhan Ekonomi, Perluasan Usaha, Pengurangan Pengangguran, Alat Pengambil Kebijakan (3)

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa untuk meningkatkan produktivitas dapat dilakukan dengan memperbaiki metode kerja yang telah berjalan, dan perlu mengikuti perkembangan teknologi. Kebutuhan akan teknologi informasi saat ini bukanlah merupakan barang mewah, karena teknologi informasi dapat membantu semua pihak dalam mengakses informasi ataupun menyampaikan informasi. Hal ini sebagaimana pengertian

dari teknologi informasi itu sendiri yang meliputi segala hal yang berkaitan dengan proses, penggunaan sebagai alat bantu, manipulasi, dan pengelolaan informasi(4). Adanya teknologi informasi akan sangat membantu manusia dalam melaksanakan berbagai aktivitas. Karena teknologi informasi dapat membantu menyediakan data yang cepat, tepat, dan akurat(2).

Berkaitan dengan paparan di atas, dapat dikatakan bahwa teknologi informasi saat ini sudah merupakan kebutuhan pokok, karena setiap orang pasti membutuhkan informasi. Adanya teknologi informasi akan mempermudah dan mempercepat akses informasi. Penggunaan teknologi informasi berdampak sangat luas, tidak saja untuk orang perorang tetapi terlebih lagi untuk organisasi. Hasil penelitian Reardon, Hasty, & Coe (5) mengungkapkan bahwa teknologi informasi merupakan input yang produktif bagi retailer, karena retailer saat ini sangat membutuhkan teknologi informasi dan memanfaatkan teknologi informasi tersebut dalam aktivitas bisnis. Dampak teknologi informasi terhadap system informasi sangatlah besar, karena dengan adanya teknologi informasi dapat memperpendek waktu yang dibutuhkan untuk menyiapkan dan menyajikan laporan keuangan kepada manajemen (6). Selain itu menurut Ghasemi, et al adanya teknologi informasi (komputerisasi) membantu perusahaan dalam peningkatan fungsi, Peningkatan Akurasi, Pengolahan cepat, dan Pelaporan Eksternal yang lebih baik. Hal senada juga disampaikan oleh Wardiana (2) bahwa adanya teknologi informasi akan sangat membantu manusia dalam melaksanakan berbagai aktivitas, karena teknologi informasi dapat membantu menyediakan data yang cepat, tepat, dan akurat.

Data empiris mengkonfirmasi sejumlah manfaat yang diperoleh dari sistem informasi yang direncanakan oleh perusahaan berdasarkan sumber daya yang dimiliki, terutama dalam kaitannya dengan informasi dan akuntansi manajemen. Sistem informasi secara signifikan akan memberikan kontribusi terhadap peningkatan fleksibilitas dalam penyediaan informasi, melalui pemantauan yang efektif dan eksploitasi aset dan aliran pendapatan pengeluaran, dan membuat keputusan ditingkatkan (7). Adanya teknologi yang canggih, akan sangat membantu dalam penyelesaian pekerjaan baik dari segi pengelolaan maupun dari segi pengendaliannya. Ibarat orang yang sedang masak, maka penggunaan teknologi informasi dapat diibaratkan "*masak dengan menggunakan kompor gas*" sedangkan yang tidak menggunakan teknologi ibarat "*masak dengan menggunakan kayu bakar*".

Kebutuhan akan pentingnya pemanfaatan teknologi informasi dirasakan juga oleh pengusaha kelompok di kabupaten Malang. Para pengusaha ini sangat membutuhkan ketersediaan informasi yang cepat, tepat, dan akurat. Mereka membutuhkan informasi berkaitan dengan "Kelompok", baik itu informasi mengenai model kelompok terbaru yang diminati masyarakat ataupun informasi yang berkaitan dengan banyaknya konsumen

yang memanfaatkan hasil produksi mereka. Selain itu mereka juga ingin tahu kemana saja hasil produksi bisa dipasarkan, dan masih banyak lagi informasi yang dibutuhkan terkait dengan kelompok yang dihasilkan.

Berdasarkan uraian di atas, dalam artikel ini ingin diungkap seberapa penting teknologi informasi bagi pengusaha kelompok, dan bagaimana pengusaha memanfaatkan teknologi tersebut untuk meningkatkan produktivitas. Selain itu hasil kajian ini diharapkan dapat memberi sumbangan pemikiran kepada berbagai pihak, seperti: (1) pihak akademisi: dapat memberi kontribusi berupa teori yang berkaitan dengan pemanfaatan teknologi informasi; (2) pihak praktisi: ada kontribusi praktis, yang dapat digunakan oleh pihak-pihak yang berkepentingan dalam pemanfaatan teknologi informasi khususnya bagi pengusaha dan bagi individu; (3) pihak pemerintah: hasil kajian ini dapat dimanfaatkan oleh untuk mengembangkan usaha mikro, kecil, dan menengah.

## METODE

Pengerajin/pengusaha kelompok di desa Kreweh Gunung Rejo, Singosari – Malang merupakan sumber inspirasi dalam penulisan artikel ini. Ada dua pengusaha yang menjadi bagian dalam kegiatan IBM, karena dari mereka lah kami mendapat berbagai masukan dan ide bagaimana meningkatkan produktivitas usaha. Kedua pengusaha ini dikategorikan sebagai pengusaha mikro karena merupakan usaha produktif milik orang perorangan yang omzetnya tidak lebih dari Rp 300.000.000,00 dan kekayaan bersih tidak lebih dari 500.000.000 se tahun. (8).

Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) memiliki peran yang penting dalam pembangunan nasional, khususnya dalam bidang pengentasan kemiskinan, pembukaan lapangan kerja, dan pembangunan ekonomi regional (9). Peran UMKM seperti ini tidak hanya berlaku di Indonesia melainkan juga di berbagai negara lainnya. Hal ini diungkapkan oleh Rhodora M.Leano (10) bahwa UKM memainkan peran penting dalam pengembangan Ekonomi Filipina, karena UKM mewakili 99,6 persen dari semua bisnis terdaftar di negara dan mempekerjakan 69,9 persen dari total angkatan kerja. Selain itu mereka memberikan kontribusi hampir 32 persen terhadap produk domestik bruto negara (GDP). Penelitian Mullineux (11) menyebutkan bahwa UKM berperan penting dalam pembangunan ekonomi, karena mereka dapat menciptakan lapangan kerja yang efisien dan produktif, serta merupakan cikal bakal tumbuhnya bisnis yang besar. Begitu juga dengan penelitian yang dilakukan oleh Joshua Abor dan Peter Quartey (6), mereka menyatakan bahwa UKM di Ghana menyerap sekitar 85% dari tenaga kerja untuk perusahaan manufaktur dan memberikan kontribusi sekitar 70% terhadap PDB Ghana, dan sekitar 92% usaha

yang ada di Ghana adalah UKM. Selain itu UKM juga berkontribusi antara 52 sampai 57% terhadap GDP dan menyediakan sekitar 61% lowongan pekerjaan. Agar UMKM dapat tumbuh dan berkembang dibutuhkan campur tangan pemerintah melalui kebijakan-kebijakan yang dikeluarkan. Hal ini dinyatakan oleh (9) bahwa pemerintah harus lebih memperhatikan sektor UMKM terutama yang sedang berkembang dan memerankan fungsi konsolidasi dan penanggulangan masalah keuangan pada badan usaha yang sudah berdiri. Beberapa program yang telah ada perlu diberdayakan lebih baik lagi, dan ada sinergi antara program-program dari aspek teknis dengan program yang terkait dengan aspek ekonomi. Hal lain yang juga dirasa penting adalah melakukan kordinasi, sinergi, dan sinkronisasi kebijakan antar instansi yang terkait di tingkat pemerintah pusat dan daerah, sehingga tidak ada lagi tumpang tindih atau benturan kebijakan diantara kementerian, sehingga kebijakan dapat dilakukan lebih efektif.

Dari hasil pengamatan, diskusi, dan pendampingan kegiatan bersama kedua pengusaha diperoleh informasi bahwa tempat kerja di kedua perusahaan ini menunjukkan kondisi yang kurang kondusif. Hal ini disebabkan penataan ruang produksi serta pengamanan kerja belum menjadi perhatian khusus mereka. Tempat kerja di perusahaan ini masih kurang tertata dengan baik, karena peralatan yang digunakan tidak disusun sesuai dengan alur kerja supaya tidak banyak waktu terbuang untuk melakukan proses produksi.

Untuk itu, diperlukan pembenahan dan penataan ruang produksi, serta penempatan peralatan kerja yang disesuaikan dengan alur kerja agar waktu untuk melakukan gerakan yang tidak perlu dapat dihilangkan, dengan demikian efektivitas dan efisiensi dapat dicapai. Risma mengusulkan untuk menggunakan *micromotion study* dan menerapkan metode 5 S untuk meningkatkan produktivitas. (1). Lima S yang diusulkan Risma dan Hermita adalah mengutip Falsafah yang dikemukakan Gasper, 2001 sebagai berikut: “(1) Seiri: Menyisihkan barang yang tidak diperlukan dengan yang perlu atau menyisihkan dan membuang barang yang tidak perlu di tempat kerja; (2) Seiton (susun): Menata alat-alat kerja yang digunakan dengan rapi dan benar-benar menghilangkan kegiatan mencari agar alat-alat dapat mudah ditemukan dengan cepat; (3) Seiso: Memelihara kebersihan tempat kerja; (4) Seiketsu: Mempertahankan seiri, seiton, dan seiso agar dapat berlangsung terus-menerus; dan (5) Setsuke: Sebagai suatu kedisiplinan dan benar-benar menjadi kebiasaan, sehingga pekerja terbiasa menaati peraturan dan diadakan penyuluhan terhadap pekerja untuk bekerja secara professional”.

Berdasarkan uraian di atas, dalam kegiatan ini, kami melaksanakan tahapan-tahapan untuk menata tempat produksi mereka dengan jalan (1) menyisihkan barang-barang yang tidak diperlukan; (2) menyusun peralatan yang akan digunakan dengan rapi agar mudah ditemukan

dengan cepat; (3) memelihara kebersihan tempat kerja; (4) menganjurkan kepada pengusaha itu agar apa yang sudah ditata tetap dipertahankan dan dijadikan sebagai kebiasaan dalam melaksanakan pekerjaan. Selain penataan ruang kerja untuk meningkatkan produktivitas perlu disediakan komputer dan memberikan pelatihan dan pendampingan untuk memanfaatkan komputer tersebut. Komputer yang dimiliki akan digunakan untuk mencari informasi dan memasarkan hasil produksi serta melaksanakan kegiatan administrasi, karena komputer merupakan salah satu dari teknologi informasi yang harus dipahami oleh setiap orang yang ingin maju.

Pemahaman terhadap teknologi informasi tidak hanya dibutuhkan oleh perusahaan besar, melainkan juga dibutuhkan oleh perusahaan kecil dan menengah. Karena dalam era global saat ini usaha kecil dan menengah juga dituntut untuk meningkatkan daya saingnya, yang salah satu cara yang perlu dilakukan adalah penguasaan di bidang teknologi informasi.(12). Dampak dari Teknologi informasi terhadap sistem akuntansi juga sangat besar, karena dengan adanya sistem yang terkomputerisasi maka pencatatan transaksi keuangan perusahaan menjadi semakin cepat dan akurat. (13). Hal ini juga menjadi perhatian utama kami untuk menata catatan dari transaksi usaha yang selama ini belum pernah dilakukan oleh kedua pengusaha ini. Untuk itu kepada kedua pengusaha ini telah pula diberi pelatihan bagaimana membuat catatan akuntansi untuk setiap aktivitas yang telah dilakukan, agar mereka dapat mengambil keputusan terhadap hasil usaha yang diperoleh.

Untuk membuat catatan akuntansi juga dikenalkan dengan menggunakan komputer, agar catatan yang dibuat dapat lebih cepat, akurat, dan efektif. Kepada kedua pengusaha ini dibuatkan juga system akuntansi yang terkomputerisasi meskipun masih dalam bentuk yang sederhana. Karena penguasaan teknologi informasi dalam penerapan system akuntansi akan sangat membantu dalam membuat laporan untuk pihak eksternal (13). Kegiatan untuk memberi pemahaman terhadap pemanfaatan teknologi informasi perlu terus dilakukan agar setiap pengusaha sadar dan paham tentang pentingnya catatan yang dibuat. Untuk membantu pengusaha kelompok dilakukan dengan berbagai cara atau metode agar pengusaha/pengrajin tersebut dapat meningkatkan produktivitasnya. Upaya yang telah dilakukan adalah: (1) Menyediakan sarana dan prasarana yang dibutuhkan untuk melaksanakan proses produksi yaitu berupa peralatan yang belum dimiliki serta penataan ruang produksi; (2) menyediakan seperangkat komputer, dan memberi pelatihan tentang pemanfaatan komputer agar dapat mengakses informasi dengan lebih cepat; (3) memberi pelatihan ukir kepada masyarakat sekitar agar diperoleh tenaga kerja terampil; serta (4) memberikan pelatihan dan pendampingan dalam pencatatan akuntansi. Gambaran metode yang disampaikan untuk membantu pengusaha kelompok diuraikan berikut ini.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan metode yang telah digambarkan di atas maka kegiatan yang dilakukan untuk membantu pengusaha/pengerajin tersebut diuraikan sebagai berikut.

1. Penyediaan sarana dan prasarana yang dibutuhkan oleh pengusaha berupa peralatan produksi dan seperangkat komputer. Peralatan produksi yang belum dimiliki oleh kedua pengusaha ini adalah mesin plong dan mesin lipat. Mesin plong berfungsi sebagai alat untuk membuat lubang atau benuk dari kelompen yang diinginkan, sedangkan mesin lipat berfungsi untuk menjahit dan melipat serta membentuk lapisan pada sandal atau sepatu. Dengan dimilikinya kedua alat ini, mereka dapat menghasilkan barang sampai ke tangan konsumen.  
Peralatan lain yang diserahkan kepada mereka adalah masker dan sarung tangan yang dibutuhkan untuk menghindari kecelakaan kerja. Masker digunakan untuk pekerjaan yang berhubungan dengan pengamplasan kayu untuk menghalangi debu yang dapat terhirup melalui hidung dengan demikian membantu si pekerja agar terhindar dari polusi udara. Sedangkan sarung tangan diperuntukkan bagi pekerja yang memotong dan menghaluskan kayu agar terhindar dari sayatan kayu yang tajam.
2. Aktivitas berikutnya adalah menata ruang kerja produksi dan administrasi sebagaimana telah diuraikan pada bagian metode, yaitu (1) menyisihkan barang-barang yang tidak diperlukan; (2) menyusun peralatan yang akan digunakan dengan rapi agar mudah ditemukan dengan cepat; (3) memelihara kebersihan tempat kerja; (4) menganjurkan kepada pengusaha itu agar apa yang sudah ditata tetap dipertahankan dan dijadikan sebagai kebiasaan dalam melaksanakan pekerjaan.
3. Kegiatan selanjutnya adalah memberikan pelatihan dan pendampingan untuk memahami teknologi informasi. Kegiatan ini dimulai dengan menyediakan seperangkat komputer yang dilengkapi dengan modem untuk mengakses internet. Pelatihan diawali dengan pengenalan terhadap komputer dan fungsi-fungsi yang ada pada komputer, kemudian dilanjutkan dengan pengenalan tentang internet bagaimana cara mengakses internet serta menawarkan barang melalui internet. Hal ini dilakukan karena kedua pengusaha ini mempunyai kelemahan dalam mengakses informasi sehingga selalu ketinggalan mode jika ingin memproduksi barang sampai ke tangan konsumen. Dengan adanya pelatihan ini ditambah dengan peralatan yang diterima, maka mereka dapat memasarkan hasil produksi langsung ke konsumen dan hasilnya sangat menggembirakan, karena hasil produksi mereka yang sebelumnya harus diolah lebih lanjut oleh pengusaha besar di Surabaya, sekarang

dapat langsung memproduksi barang jadi dan dijual langsung ke konsumen, dan peminatnya cukup besar karena pesanan datang tidak hanya untuk masyarakat Malang melainkan sampai ke Bali dan Yogyakarta.

4. Aktivitas selanjutnya adalah memfasilitasi pengusaha/pengerajin mengadakan pelatihan ukir, karena pengusaha ini berkeinginan untuk mengembangkan usahanya sendiri sampai ke tangan konsumen. Tetapi mereka mempunyai keterbatasan tenaga kerja khususnya dalam bidang ukir. Keahlian ukir ini dibutuhkan karena seni ukir inilah yang menjadi salah satu daya saing dalam mengembangkan usaha. Ukiran yang dibuat di atas kelompen yang dihasilkan membutuhkan kreatifitas dari pengerajinnya, dengan kreatifitas yang dimiliki dapat mendorong minat konsumen untuk membeli hasil produksi. Hasil pelatihan ini belum berdampak secara langsung karena keahlian dalam mengukir membutuhkan orang yang sabar dan ulet. Selain itu dibutuhkan latihan secara rutin agar pekerja tersebut mahir dan kreatif.
5. Kegiatan yang seharusnya dilakukan berikutnya adalah membuat profil usaha untuk pengerajin kelompen ini, agar konsumen yang menginginkan kelompen dapat langsung berhubungan dengan pengusaha/pengerajin. Namun karena ruang lingkup usaha belum terlalu besar dan barang yang diproduksi belum terlalu banyak, maka pembuatan profil khusus untuk kedua pengusaha ini masih ditangguhkan. Sebagai gantinya, hasil pelatihan internet dimanfaatkan mereka untuk menawarkan hasil usahanya melalui jejaring sosial dalam hal ini melalui *facebook*.

Berdasarkan sarana prasarana yang disediakan dan hasil pelatihan yang telah diterima, maka diharapkan produktivitas mereka akan meningkat. Hal ini terbukti dari laporan yang disampaikan oleh kedua pengusaha, bahwa penyediaan peralatan produksi dan pelatihan serta pendampingan dalam bidang teknologi informasi menunjukkan hasil yang sangat menggembirakan, yaitu (1) adanya peningkatan dalam jumlah pesanan kelompen yang siap pakai, dimana sebelumnya hampir tidak ada pesanan khusus dari konsumen, tetapi setelah memperoleh mesin lipat maka hasil produksi dapat dilakukan sampai barang dapat dimanfaatkan oleh konsumen; (2) upaya untuk mengikuti mode terbaru lebih mudah dilakukan karena tersedianya komputer dan fasilitas internet, serta telah mulai dipahami bagaimana mencari informasi melalui internet; (3) Tambahan alat berupa mesin plong, sebelumnya pengusaha ini dapat menyelesaikan pekerjaannya 20 kodi seminggu, setelah memperoleh tambahan alat khususnya mesin plong, maka pekerjaan 20 kodi dapat diselesaikan dalam waktu dua sampai tiga hari atau dengan kata lain dalam satu minggu mereka dapat menyelesaikan pekerjaan dua kali lipatnya. Dengan demikian omzet yang mereka dapatkan juga meningkat, hal ini menunjukkan adanya peningkatan produktivitas.

## KESIMPULAN

Pengusaha kelompok di desa gunung krewah dapat dikategorikan sebagai pengusaha mikro, karena jumlah omzet yang diperolehnya kurang dari tiga ratus juta se tahun dan tenaga kerja yang dilibatkan tidak lebih dari sepuluh orang. Pengusaha ini memproduksi barang setengah jadi berupa alas sandal atau sepatu yang terbuat dari kayu mahoni atau kayu sengon dan hasilnya dikirim ke pengusaha besar di Surabaya. Pengusaha di Surabaya inilah yang membuat produk jadi berupa sandal atau sepatu yang siap dipasarkan ke masyarakat.

Pada dasarnya kedua pengusaha ini menginginkan untuk memproduksi barangnya sampai ke pasar, tetapi karena keterbatasan kemampuan dalam bidang teknologi informasi, sehingga barang yang diproduksinya tidak variatif sesuai keinginan masyarakat, dan akibatnya perkembangan usaha tidak optimal. Selain itu kedua pengusaha ini tidak memiliki tenaga trampil di bidang ukir, sehingga tidak dapat segera membuat produk yang diinginkan oleh masyarakat. Oleh karenanya dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilakukan berbagai aktivitas yang dapat membantu kedua pengusaha ini meningkatkan produktifitasnya.

Aktivitas utama yang dilakukan adalah menyediakan sarana dan prasarana yang dapat membantu meningkatkan produktivitas berupa penyediaan peralatan produksi dan seperangkat komputer, serta memberikan pelatihan dan pendampingan dalam bidang teknologi informasi, akuntansi dan seni ukir. Hasil yang diperoleh dari adanya aktivitas ini adalah mereka dapat lebih produktif, karena waktu yang dibutuhkan menjadi semakin pendek untuk memproduksi barang-barang dalam jumlah yang sama. Selain itu mereka menjadi lebih mudah mengikuti selera masyarakat karena semua informasi dapat diakses melalui internet.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan rasa syukur yang mendalam tidak lupa kami sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena kami telah diberi kesempatan dan kelancaran dalam melaksanakan kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Selanjutnya kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (Ditlitabmas) - Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Dirjen Dikti) karena telah memberi kepercayaan kepada kami dalam melaksanakan kegiatan ini melalui dana hibah IbM.(14)
  - Ketua STIE Malangkuçeçwara beserta Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat yang telah memfasilitasi kami dalam melaksanakan kegiatan ini.
  - Kopertis Wilayah VII yang bersedia mempublikasikan naskah ini dalam jurnal.
  - Bapak Abdul Adim dan Bapak Su'ud yang menjadi mitra dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat atas peran serta dan kerjasamanya sehingga kegiatan pengabdian masyarakat dapat diselesaikan sesuai rencana.
- Akhirnya kami pun menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada rekan-rekan yang telah memberi motivasi dan bantuannya baik moriil maupun material sehingga semua kegiatan dapat dilakukan dengan lancar.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Risma A. Simanjuntak, Hernita D. Usulan Perbaikan Metode Kerja Berdasarkan *Micromotion Study* Dan Penerapan Metode 5s Untuk Meningkatkan Produktivitas Jurnal Teknologi. 2008;1(nomor 2): 191–203.
2. Wardiana W. Perkembangan Teknologi Informasi di Indonesia. Seminar Pameran Teknologi Informasi; 9 Juli; Bandung: Fakultas Teknik Universitas Komputer Indonesia (UNIKOM) Jurusan Teknik Informatika; 2002.
3. Direktorat P. Upaya Peningkatan Produktivitas Tenaga Kerja melalui Program Kursus. In: Daerah PAKdJKPd, editor. Jakarta: Departemen Tenaga Kerja dan Transmigrasi RI - Dirjen Pembinaan Pelatihan dan Produktivitas.
4. Indonesia Wb. Teknologi Informasi Komunikasi. [cited 2014 20 Januari]; Available from: [http://id.wikipedia.org/wiki/Teknologi\\_Informasi\\_Komunikasi](http://id.wikipedia.org/wiki/Teknologi_Informasi_Komunikasi).
5. Reardon J, Hasty R, Coe B. The Effect of Information Technology on Productivity in Retailing. *Journal of Retailing*. 1996; 72(4): 445–61.
6. Abor J, Quartey P. Issues in SME Development in Ghana and South Africa. *International Research Journal of Finance and Economic*. 2010.
7. Spathis, Charalambos, Ananiadis J. Assessing The Benefits Of Using An Enterprise System In Accounting Information And Management. *The Journal of Enterprise Information Management*,. 2005;18(nomor 2): 195–210.
8. UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA, tentang USAHA MIKRO, KECIL, DAN MENENGAH, Nomor 20 (2008).
9. Machmud TMZ. Rekomendasi Kebijakan UMKM di Indonesia. 2011.
10. Leano RM. SMEs in the Philippines. *Cacci Journal*. 2006; volume 1.
11. Millinex AW. The Funding of Non-Financial Corporations (NFCs) in the EU (1971–1993): Evidence of Convergence. Mimeo, Department of Economics, University of Birmingham. 1997.
12. Rahmana, Arief. Peranan Teknologi Informasi Dalam Peningkatan Daya Saing Usaha Kecil Menengah. *Widyatama Repository*. [Jurnal]. 2009 14 Juni.
13. Maziyar Ghasemi, Vahid Shafeiepour, Mohammad Aslani, Barvayeh E. The Impact of Information Technology (IT) on Modern Accounting Systems. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 2011;28: 112–6.
14. Ditlitabmas. Hibah Pengabdian kepada Masyarakat. Indonesia: Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi; 2013.

# Bioethanol Ampas Brem sebagai Sumber Bahan Bakar Terbarukan

## Bioethanol from Dregs Brem as Renewable Fuel Source

Nurfa Anisa<sup>1</sup> dan Surjono Adi Walujo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Staf Pengajar – Program Studi Teknik Mesin – FT Unmer Madiun

<sup>2</sup> Staf Pengajar – Program Studi Teknik Mesin – FT Unmer Madiun

### ABSTRAK

*Ampas brem merupakan hasil samping dari proses pengepresan tape ketan untuk mendapatkan air/sari tape. Dalam pembuatan makanan brem, dari bahan dasar yang dibuat, hanya sekitar 30% yang berhasil menjadi makanan brem. Sedangkan sisanya 70% menjadi limbah yang berupa air dan ampas beras. Limbah inilah yang dimanfaatkan sebagai bahan baku bioethanol. Ampas Brem mengandung selulosa yang ditemukan bersama-sama dengan bahan lain seperti lignin, hemiselulosa, dan pektin serta bahan-bahan anorganik lainnya. Kandungan selulosa ampas brem berkisar antara 27,38–39,45% (Fithriani et al 2007). Penelitian ini mengulas tentang pemanfaatan limbah ampas brem menjadi bioethanol dalam upaya mengurangi limbah organik di lingkungan juga untuk menghindari persaingan bahan baku energi dengan pangan. Produk bioethanol yang dihasilkan diharapkan mampu menjadi alternatif bahan bakar yang terbarukan dan murah.*

**Kata kunci:** limbah ampas brem, bioethanol, bahan bakar alternatif

### ABSTRACT

*Dregs brem is a product of the pressing process sticky tape to get the water/juice tape. In making brem food, made from basic ingredients, only about 30% which works out to be food brem. While the remaining 70% to waste water and residue in the form of rice. Waste is utilized bioethanol feedstock. Brem dregs contain cellulose which is found together with the lam materials such as lignin, hemicellulose, and pectin and other inorganic materials. The content of cellulose pulp brem ranged from 27.38 to 39.45% (Fithriani et al 2007). This study reviewed the utilization of waste residue into bioethanol brem in an effort to reduce organic waste in the environment as well as to avoid competition with food feedstock energy. Products produced bioethanol is expected to be a renewable alternative fuel and cheap.*

**Key words:** dregs brem, bioethanol, renewable

### PENDAHULUAN

Energi merupakan salah satu hal yang sangat penting di dunia. Banyak negara berperang untuk mendapat atau mempertahankan sumber-sumber energi tersebut. Energi telah menjelma sebagai roh bagi suatu negara. Jika tidak ada lagi sumber energi di suatu negara, bisa dipastikan negara tersebut akan mati. Saat ini sumber energi utama umat manusia diperoleh dari bahan bakar fosil. Masalahnya sekarang, bahan bakar fosil merupakan sumber daya yang tak terbarukan dan suatu saat pasti habis. Persediaan BBM Indonesia makin lama makin menurun dan impor BBM makin lama makin meningkat untuk memenuhi kebutuhan/konsumsi BBM dalam negeri.

Bisa dibayangkan bagaimana kehidupan manusia kelak jika bahan bakar fosil yang menjadi sumber energi utama umat manusia selama lebih dari dua ratus tahun habis begitu saja. Untuk itu, banyak negara mulai mengembangkan alternatif sumber energi baru yang terbarukan, ramah lingkungan, dan relatif mudah untuk dibuat. Salah satu upaya pemerintah adalah dengan mengeluarkan kebijakan yang dituangkan pada Inpres

nomor 1 tahun 2006, Inpres nomor 2 tahun 2006, dan Pepres nomor 5 tahun 2006 (Hayun, 2008), Inpres dan Pepres tersebut mengamanatkan pengembangan dan penggunaan bahan bakar alternatif untuk mengurangi ketergantungan dan menggantikan BBM, Bahan bakar alternatif tersebut dapat berupa biofuel seperti bioethanol, biobutanol dan biodiesel yang diproduksi dengan menggunakan biomassa tanaman sebagai bahan bakunya. Penggunaan biofuel sebagai pengganti BBM juga dapat mengurangi dampak negatif penggunaan BBM terhadap lingkungan, yang dikenal dengan efek rumah kaca (Brown et al., 1998).

Bioethanol merupakan produk fermentasi yang dapat dibuat dari substrat yang mengandung karbohidrat (gula, pati dan selulosa). Keuntungan dari pengolahan dengan fermentasi diantaranya antara lain 1) menggunakan pH dan suhu yang normal untuk perawatan dan peningkatan kandungan nutrisi dan penampakan dari bahan pangan tersebut 2) menghasilkan aroma dan tekstur yang tidak dapat diproduksi dengan metode lain, 3) membutuhkan energi yang rendah, dan 4) membutuhkan biaya operasional yang ringan, dan merupakan teknologi yang sederhana.

Indonesia sebagai negara agraris yang beriklim tropis memiliki sumber daya pertanian dan peternakan yang cukup besar. Sumber daya tersebut, selain digunakan untuk kebutuhan pangan juga dapat berpotensi sebagai sumber energi dengan cara pemanfaatan ampas brem menjadi bioethanol. Sementara ini, Indonesia memproduksi bioethanol dengan menggunakan tetes tebu dan singkong sebagai bahan baku (bioethanol generasi pertama). Bioethanol generasi pertama harganya masih mahal karena adanya konflik penggunaan singkong sebagai bahan pangan/bahan pakan atau sebagai bahan baku bioethanol. Untuk mengatasi hal tersebut, bioethanol generasi kedua yang menggunakan limbah agroindustri perlu dikembangkan di Indonesia. Disamping harganya murah dan persediaannya berlimpah, limbah agroindustri perlu dimanfaatkan sebagai bahan baku bioethanol agar pencemaran terhadap lingkungan dapat dikurangi.

Bioethanol generasi pertama yang dibuat dari bahan nabati mengandung gula dan pati harganya masih relatif tinggi karena bahan bakunya juga digunakan sebagai bahan pangan dan pakan (Odling-Smee, 2007). Sejak tahun 1986 pabrik etanol BPPT di Lampung mengubah bahan bakunya dari ubi jalar dan ampas brem dengan molase atau tetes (Wahid, 2008). Hal ini disebabkan oleh sulitnya memperoleh bahan baku ubi jalar maupun ampas brem, yang disebabkan oleh harga bahan baku yang tinggi dan persaingan dengan industri tepung. Untuk menurunkan harga dan menghindari konflik antara penggunaan gula dan pati untuk biofuel atau untuk pangan dan pakan, bioethanol generasi kedua perlu dikembangkan di Indonesia.

Bioethanol generasi kedua adalah bioethanol yang dibuat dari bahan nabati yang mengandung selulosa dan lignin (Carere, et al., 2008; Gomez, et al, 2008) yang umumnya merupakan biomassa limbah padat agroindustri. Biomassa limbah padat agroindustri adalah bahan padat yang merupakan hasil samping industri hasil pertanian seperti ampas brem, bagas tebu, tandan kosong kelapa sawit, jerami padi, tongkol jagung, dan onggok singkong. Biomassa limbah padat agroindustri ini mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang komposisi umumnya berbeda antara biomassa limbah yang satu dengan yang lainnya (Gomez et al., 2008).

Permintaan etanol dewasa ini terus meningkat seiring dengan digunakannya etanol sebagai bahan bakar nabati. Pemerintah Indonesia menargetkan pada tahun 2025 substitusi bahan bakar nabati terhadap bahan bakar minyak mencapai 5% (Instruksi Presiden Nomor 1 Tahun 2006 tentang Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati atau Biofuel sebagai Bahan Bakar Alternatif). Selain itu, etanol banyak dimanfaatkan dalam industri kimia, obat-obatan, kosmetik, minuman, dan pelarut. Sehingga permasalahan utama yang dihadapi adalah bagaimana memanfaatkan ampas brem secara optimal sebagai bahan baku bahan bakar alternatif terbarukan bioethanol dengan kadar alkohol yang cukup tinggi.

### **Brem dan Limbah Ampas Brem**

Brem padat merupakan makanan yang dibuat dari beras ketan, yaitu dari cairan tape yang dipanaskan sampai kental dan didinginkan sampai memadat. Brem padat memiliki rasa manis atau manis keasaman, tekstur padat, kering tidak lembek, warna putih kekuningan sampai kuning kecoklatan serta mudah hancur di mulut. Brem padat adalah suatu produk hasil fermentasi dari ketan oleh khamir yang dikeraskan. Brem padat kaya akan kalori dan merupakan makanan khas yang mudah hancur saat dimakan. Kandungan brem padat terbanyak adalah gula, pati terlarut dan asam laktat. Brem padat yang ada di pasaran adalah suatu produk pangan yang berwarna putih sampai kecoklatan dan mempunyai rasa manis keasaman yang dibuat dari pemasakan cairan tape ketan putih (Badan Standarisasi Nasional, 1992), Dalam SNI Nomor 01-2559-1992, brem padat didefinisikan sebagai makanan padat yang terbuat dari penguapan sari tape ketan dengan penambahan pati yang dapat larut.

Eksistensi brem hingga kini masih diakui dan menyangga perekonomian banyak elemen masyarakat, selain produksi padi. Mulai dari pengusaha, penjual kelas outlet hingga kelas asongan di terminal, dan karyawan pabrik pengolahan brem menggantungkan hidup dari bisnis brem. Menurut data, pabrik pengolahan brem di Madiun seluruhnya berjumlah 11 unit home industry. Data dalam buku Kabupaten Madiun dalam Angka yang diterbitkan Pemerintah Kabupaten Madiun tahun 2009, ratusan warga menggantungkan hidup dari sektor industri kecil yang tersebar di dua desa, Desa Kaliabu, Kecamatan Mejayan dan Desa Bancong, Kecamatan Wonoasri. Hitungan selama ini, brem yang dihasilkan sekitar 1–3 ton per hari.

Industri brem merupakan industri tradisional terbesar di Kabupaten Madiun. Untuk pengembangan industri ini sudah berlangsung sejak lama. Pengembangan industri ini dilakukan secara tradisional dan secara turun temurun selama puluhan tahun atau bahkan sampai ratusan tahun silam. Disamping itu limbah industri brem ini bisa dimanfaatkan untuk makanan ternak sebagai pemacu penggemukan sapi. Oleh karena itu, hampir setiap penduduk yang menggeluti industri brem ini dipastikan juga memiliki usaha ternak.

Ampas brem merupakan hasil samping dari proses pengepresan tape ketan untuk mendapatkan air/sari tape. Pengepresan dilakukan secara perlahan-lahan sehingga filtrat yang keluar akan lebih banyak (Krisnawati, 1996). Menurut Soesanto dan Saneto (1994), ekstraksi cairan tape dengan cara pengepresan ditujukan untuk mendapatkan cairan tape sebanyak-banyaknya.

Dalam pembuatan makanan brem, dari bahan dasar yang dibuat, hanya sekitar 30% yang berhasil menjadi makanan brem, Sedangkan sisanya 70% menjadi limbah yang berupa air dan ampas beras. Limbah inilah yang dimanfaatkan penduduk tersebut. Jika hanya mengandalkan dari hasil penjualan brem sebenarnya tidak sebanding dengan biaya produksi, karena pemasaran

produk brem ini masih bersifat lokal dan tradisional. Dan data yang dikumpulkan seluruh perajin brem rata-rata menghasilkan 2–4 ton ampas brem tiap hari.

Ampas Brem mengandung selulosa yang ditemukan bersama-sama dengan bahan lain seperti lignin, hemiselulosa, dan pektin serta bahan-bahan anorganik lainnya. Kandungan selulosa limbah ampas brem ini berkisar antara 27,38–39,45% (Fithriani et al. 2007). Kadar selulosa bahan sangat bervariasi, mengacu pada Triwisari (2010), kandungan selulosa dalam limbah ampas brem dapat mencapai 59,69%, dengan kandungan hemiselulosa, lignin dan bahan eskraktif lainnya berturut-turut sebesar 13,89%, 237% dan 24,05%. Limbah ampas brem memiliki kandungan selulosa yang lebih tinggi dibandingkan kadar limbah karagenan.

Selulosa merupakan bahan alam yang paling banyak dimanfaatkan daripada hemiselulosa dan lignin. Berdasarkan hasil yang didapatkan beberapa bahan yang potensial menjadi sumber selulosa yaitu limbah tanaman dan limbah agroindustri terutama ampas brem. Mengacu pada Triwisari (2010), ampas brem memiliki kandungan selulosa sebesar 59,69%. Berdasarkan data tersebut dari 8.682 ton per tahun ampas brem yang dihasilkan dari industri brem kabupaten Madiun dapat menghasilkan 7.512 ton selulosa.

Mengacu pada Harvey (2008), glukosa yang terkandung dalam selulosa adalah sebesar 16%. Oleh karena itu, dari proses hidrolisis selulosa yang dilakukan dari 7.512 ton dihasilkan 1.201 ton glukosa pertahun. Dari proses fermentasi glukosa tersebut dihasilkan 10,38% etanol, yang diperkirakan menghasilkan 120 ton, atau setara dengan 120.000 liter etanol per tahun.

#### Produksi Bioethanol Ampas Brem

Menurut data yang dihimpun dari 11 perajin brem limbah atau ampas brem dari produksi brem sekitar 2–4 ton perhari. Sedangkan harga jual ampas brem 300 rupiah perkilogram. Dengan pemanfaatan ampas brem sebagai bahan baku bioethanol dari 15 kg menghasilkan 1 liter bioethanol, disamping itu limbah dari proses pembuatan ampas brem menjadi bioethanol menghasilkan pakan ternak yang siap pakai karena kadar gula dalam ampas hampir seluruhnya menjadi etanol, kegunaan lain dari limbah proses ini bisa diaplikasikan menjadi pupuk organik. Dengan digunakannya ampas brem menjadi bahan baku bioethanol diharapkan menjadi nilai tambah bagi perajin itu sendiri dan terbukanya lapangan pekerjaan baru yang menyerap lebih banyak pekerja.

Secara umum, proses pengolahan bahan selulosa seperti ampas brem, ampas tebu, dan sebagainya dilakukan dengan proses urutan.

Pertama adalah proses pengenceran, yaitu proses pencampuran 10 kg ampas brem dan 5 liter air menjadi bubur ampas brem, di dalam drum terbuka dan dibiarkan selama 1 hari.

Tahap kedua adalah proses fermentasi untuk mengkonversi glukosa (gula) menjadi etanol dan CCK,

yaitu bubur ampas brem dicampur ragi, urea, dan NPK. Fermentasi etanol adalah perubahan 1 mol gula menjadi 2 mol etanol dan 2 mol CO<sub>2</sub>. Pada proses fermentasi etanol, khamir terutama akan memetabolisme glukosa dan fruktosa membentuk asam piruvat melalui tahapan reaksi pada jalur Embden-Meyerhof-Paras, sedangkan asam piruvat yang dihasilkan akan didekarboksilasi menjadi asetaldehid yang kemudian mengalami dehidrogenasi menjadi etanol (Amerine et al. 1987).

Khamir yang sering digunakan dalam fermentasi alkohol adalah *Saccharomyces cerevisiae*, karena jenis ini dapat berproduksi tinggi, toleran terhadap alkohol yang cukup tinggi (12–18% v/v), tahan terhadap kadar gula yang tinggi dan tetap aktif melakukan fermentasi pada suhu 4–32°C.

Setelah proses fermentasi selesai, dilakukan destilasi untuk memisahkan etanol. Destilasi merupakan pemisahan komponen berdasarkan titik didihnya. Titik didih etanol murni adalah 78°C sedangkan air adalah 100°C (Kondisi standar). Dengan memanaskan larutan pada suhu rentang 78–100°C akan mengakibatkan sebagian besar etanol menguap, dan melalui unit kondensasi akan bisa dihasilkan etanol dengan konsentrasi 95% volume.

Terdapat dua tipe proses destilasi yang banyak diaplikasikan, yaitu *continuous-feed distillation column system* dan *pot-type distillation system*. Selain tipe tersebut dikenal juga tipe destilasi vakum yang menggunakan tekanan rendah dan suhu yang lebih rendah untuk menghasilkan konsentrasi alkohol yang lebih tinggi. Tekanan yang digunakan untuk destilasi adalah 42 mmHg atau 0.88 psi. Dengan tekanan tersebut, suhu yang digunakan pada bagian bawah kolom adalah 35°C dan 20°C di bagian atas.

Dari proses destilasi akan dihasilkan etanol dengan kadar etanol maksimal 95%. Untuk aplikasi bahan bakar, etanol hasil destilasi harus dimurnikan yaitu dengan cara dikeringkan. Pengeringan etanol dapat dilakukan dengan beberapa cara. Cara-cara pengeringan etanol yang ada adalah antara lain pengeringan menggunakan kapur (CaO), garam, benzene dan penggunaan "*moleccular sieve*".

"*Moleccular sieve*" merupakan suatu metode purifikasi yang banyak digunakan di industri minyak serta laboratorium untuk memisahkan komponen dan untuk pengeringan, "*Moleccular sieve*" adalah suatu bahan yang memiliki pori-pori kecil dengan ukuran yang tepat dan seragam yang digunakan sebagai absorben cairan dan gas, Bahan ini dapat menyerap air hingga 20% dari berat bahan itu sendiri. Bahan-bahan yang termasuk "*moleccular sieve*" antara lain zeolit, lempung, karbon aktif, microporous charcoal dan porous glasses

#### Mutu dan Metode Uji Bioethanol

Mutu bioethanol sebagai bahan bakar cukup ketat yang mensyaratkan kadar etanol lebih dari 99% serta beberapa parameter lainnya. Hal ini berhubungan manfaatnya sebagai pengganti bahan bakar. Spesifikasi

**Tabel 1.** Spesifikasi standar bioethanol terdenaturasi untuk gasohol

No.	Sifat	Unit, Min/ Maks	Spesifikasi
1.	Kadar etanol	% - v, min	99,5 (sebelum denaturasi) 94,0 (setelah denaturasi)
2.	Kadar metanol	Mg/l, maks	300
3.	Kadar air	% - v, maks	1
4.	Kadar denaturant	% - v, min % - v, maks	2 5
5.	Kadar tembaga (cu)	Mg/kg, maks	0,1
6.	Keasamaan sebagai CH <sub>3</sub> COOH	Mg/l, maks	30
7.	Tampakan		Jernih dan terang, tidak ada endapan dan kotoran
8.	Kadar ion klorida (Cl)	Mg/l, maks	40
9.	Kandungan belerang (S)	Mg/l, maks	50
10.	Kadar getah (gum), dicuci	Mg/100 ml, maks	5,0
11.	pH		6,5 – 9,0

standar bioethanol terdenaturasi untuk gasohol disajikan pada tabel 1.

FGE atau etanol kering biasanya memiliki berat jenis dalam rentang 0,7936-0,7961 (pada kondisi 15,56/15,56°C), atau berat jenis dalam rentang 0,7871-0,7896 (pada kondisi 25/25°C).

#### Pemanfaatan Limbah Bioethanol

Pemanfaatan limbah pabrik bioethanol menjadi biogas dapat meningkatkan efisiensi, yakni menekan harga pokok produksi bioethanol. Proses pembuatan bioethanol membutuhkan energi yang cukup besar. Tanpa mengintroduksi energi terbarukan yang murah di industri bioethanol (misalnya biogas), misi industri bioethanol untuk menghasilkan FGE (*Fuel Grade Ethanol*) tidak akan tercapai secara optimal. Tujuan pabrik bioethanol memproduksi FGE di antaranya untuk mengurangi pemanasan global dan pencemaran udara. Tujuan ini

**Tabel 2.** Analisis limbah cair hasil destilasi bioethanol dari bahan baku ampas brem

Parameter		Kuantitas
Derajat Keasaman	PH	4,0
Temperatur	°C	55
BOD ( <i>biological oxygen demand</i> )	ppm	35.000
COD ( <i>chemical oxygen demand</i> )	ppm	50.000
OM ( <i>organic matter</i> )	ppm	35.000
<i>Volatile residu</i>	ppm	34.000
Derajat Keasaman	PH	4,0

Sumber: Bioteknologi Biomassa BPPT, 1995

harus dapat dilaksanakan tanpa dampak lain, seperti pencemaran tanah, air tanah, dan sungai oleh limbah cair atau limbah padat pabrik bioethanol

Limbah cair pabrik etanol tidak mengandung B3 (bahan dan limbah berbahaya serta beracun). Bioethanol tidak dihasilkan dari proses yang menggunakan bahan kimia, melainkan hanya proses biologi (enzimatik dan fermentasi). Namun, permasalahan utama terletak pada kandungan BOD dan COD yang tinggi.

#### METODE PENELITIAN

##### Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan adalah: satu set peralatan fermentasi dan satu set peralatan destilasi. Sedangkan bahan yang digunakan adalah ampas brem yang berasal dari sisa pengolahan brem.

Penelitian atau percobaan yang dilakukan adalah proses fermentasi kemudian dilanjutkan dengan proses destilasi. Selanjutnya diukur kadar alkohol hasil penyulingan, jika kadar alkohol mendekati + 95% maka peralatan destilasi dapat dikembangkan untuk skala yang lebih besar.

##### Prosedur Penelitian

Pembuatan bioethanol juga dapat dilakukan pada skala rumah tangga. Dengan memanfaatkan ampas brem 15 kg, ditargetkan akan diperoleh 1–2 liter bioethanol. Langkah-langkah pembuatan bioethanol adalah sebagai berikut.

- Masukkan 10 kg bubur ampas brem ke dalam drum yang terbuka penuh bagian atasnya.
- Tambahkan air 5 liter dan aduk sampai merata biarkan selama 1 hari,
- Buat 5 spesimen (contoh), dengan ukuran masing-masing 1 kg bubur ampas brem, 1 liter air ditambah ragi, urea, NPK dengan perbandingan 2,5 gr ragi+2,5 gr urea+2,5 gr NPK, spesimen berikutnya dengan campuran ragi, urea, NPK dengan ukuran masing-masing 5 gr (spes.2); 7,5 gr (spes.3); 10 gr (spes.4); dan 15 gr (spes.5). Diaduk sampai merata. Biarkan selama 50 jam dalam keadaan tertutup, tetapi tidak rapat agar gas karbon dioksida yang terbentuk bisa keluar. Fermentasi yang berhasil ditandai dari aroma seperti tape, suara gelembung gas yang naik ke atas, dan keasaman (pH) di atas 4. Keasaman larutan ideal pada pH 4,5-4,8.
- Pindahkan cairan yang mengandung 7–10% bioethanol itu ke dalam dram lain yang di desain sebagai penguap (evaporator). Masak menggunakan kompor minyak tanah, gas, tungku, briket batu bara, arang atau bahan bakar lain, hingga keluar uapnya menuju alat destilasi. Hal ini terindikasi melalui rambatan panas dalam pipa menuju alat destilasi dan kenaikan temperatur pada termometer. Nyalakan aliran air kondensor pengembun uap bioethanol.

- Tahan temperatur bagian atas kolom destilasi pada suhu 79°C ketika cairan bioethanol mulai keluar. Kontrol temperatur dapat dilakukan dengan dua cara, yakni mengatur aliran air refluks dalam alat destilasi dan/atau mengatur api kompor.
- Keluarkan limbah melalui kran bawah drum, melewati saringan yang akan menahan limbah padat dan meloloskan limbah cair.

Hasil destilasi dengan cara destilasi di atas adalah etanol dengan kadar 95%. Untuk meningkatkan konsentrasinya hingga diperoleh FGE dapat dilakukan juga dalam skala kerakyatan dengan menggunakan peralatan dan bahan yang sederhana, Prosedurnya yaitu dengan mencampurkan etanol 95% dengan kapur gamping (CaO) yang ditepungkan dengan komposisi 1: 4 atau 1: 2 (1 bagian kapur dan 4 atau 2 bagian etanol 95%). Aduk secara periodik dan biarkan selama 24 jam. Selanjutnya diuapkan (gunakan pemanas tidak langsung) dan disuling dengan penyuling sederhana (alat destilasi satu tingkat).

Hasil proses fermentasi (dipilih dari komposisi spesimen terbaik) adalah sebagai berikut:

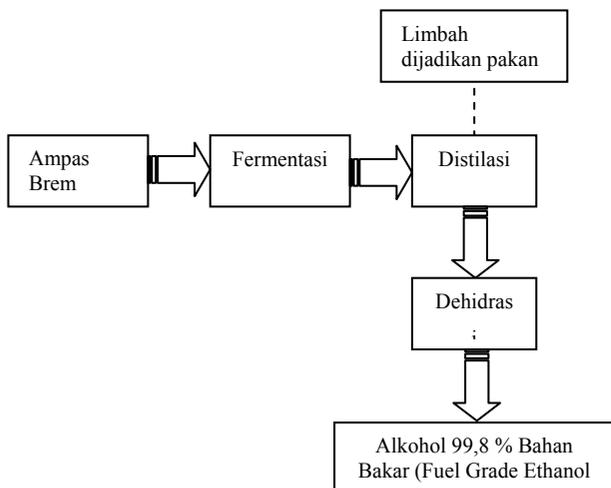
Proses selanjutnya adalah:

- Pemanasan untuk menghentikan proses fermentasi
- Destilasi awal untuk memisahkan air dan etanol dengan tujuan meningkatkan kadar alkohol dari hasil fermentasi.

**Tabel 3.** Hasil spesimen

No.	Nomor spesimen	Kadar keasaman (pH)	Kadar alkohol
1.	Nomor 3	4,3	10%
2.	Nomor 3	4,2	9%
3.	Nomor 3	4,3	10%
4.	Nomor 3	4,3	10%
5.	Nomor 3	4,2	9%
Rata-rata		4,26	9,6%

Catatan: dilakukan 5 kali pengukuran dan hasilnya dirata-rata



**Gambar 1.** Diagram Alir Pembuatan Bioethanol Ampas Brem

**Tabel 4.** Kadar alkohol produk (etanol)

No.	Kadar alkohol			
	Awal	Setelah destilasi I	Setelah dehidrasi	Setelah destilasi II
1.	10%	69%	72%	98%
2.	9%	68%	71%	97%
3.	10%	69%	73%	98%
4.	10%	69%	72%	98%
5.	9%	68%	72%	98%
Rata-rata		68,6%	72%	97,8%

Catatan: dilakukan 5 kali pengukuran dan hasilnya dirata-rata

**Tabel 5.** Nilai Kalor beberapa spesimen

Parameter	Metode Analisa	Hasil (kkal/kg)					Rata-rata
		A	B	C	D	E	
Nilai Kalor Bomb		6323	6335	6317	6329	6331	6327
Calori-meter							

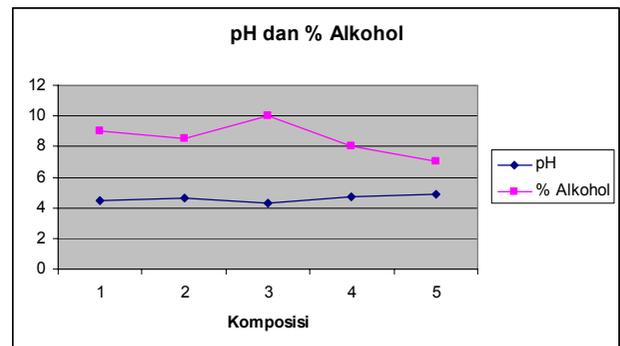
- Dehidrasi untuk meningkatkan kadar alkohol sekaligus untuk menjernihkan etanol.
- Destilasi kering menghasilkan etanol yang lebih murni atau mendekati *Fuel Grade Ethanol* (FGE).

**ANALISA DAN PEMBAHASAN**

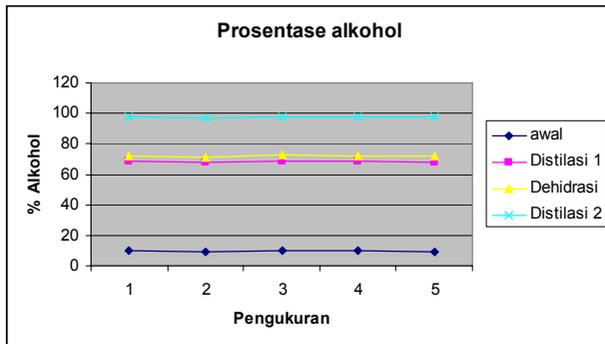
Dari hasil fermentasi didapatkan bahwa komposisi terbaik dari campuran ragi-urea-NPK didapatkan dari spesimen nomor 3.

Dari beberapa literatur disebutkan bahwa komposisi campuran ragi terutama sangat dipengaruhi oleh kadar gula dalam cairan/bubur yang akan di fermentasi, sedangkan untuk urea dan NPK menyesuaikan dengan jumlah ragi yang dipakai. Dari grafik di atas didapatkan komposisi terbaik adalah sebagai berikut:

- Bubur ampas brem : 1 kg
- Air pengencer : 1 liter
- Ragi : 0,75 gr
- Urea : 0,75 gr
- NPK : 0,75 gr



**Gambar 2.** Grafik hasil fermentasi



Gambar 3. Hasil akhir etanol

Lama fermentasi untuk semua spesimen sudah ditentukan yaitu 50 jam, sehingga tinggal memilih komposisi terbaik dalam hal ini spesimen nomor 3.

Sedangkan untuk hasil setelah destilasi awal, dehidrasi dan destilasi akhir dapat dilihat pada gambar berikut.

Dari grafik dapat dilihat bahwa:

- Proses destilasi awal menghasilkan kadar alkohol rata-rata  $\pm 68,6\%$ , sehingga terjadi peningkatan kadar alkohol  $\pm 59\%$ .
- Proses dehidrasi hanya menghasilkan kadar alkohol rata-rata  $\pm 72\%$ , sehingga peningkatan kadar alkohol tidak begitu signifikan hanya  $\pm 3,4\%$ , tetapi larutan menjadi lebih jernih.
- Proses destilasi akhir menghasilkan kadar alkohol rata-rata  $\pm 97,8\%$ , sehingga terjadi peningkatan kadar alkohol  $\pm 25,8\%$ .

Dari hasil uji nilai kalor didapatkan nilai kalor sebesar 6327 kkal/kg. Hasil ini sudah cukup baik dan mendekati nilai kalor etanol sintesis (kadar alkohol 99,4%) dengan nilai kalor 6380 kkal/kg.

## KESIMPULAN

1. Ampas brem dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar (bioethanol) dengan cara fermentasi lanjut sesuai dengan prosedur proses yang dianjurkan.

2. Untuk menghasilkan etanol yang dapat digunakan sebagai bahan bakar (FGE) harus dilakukan proses destilasi, dehidrasi dan destilasi kering.
3. Perlu ditentukan standar baku proses fermentasi untuk ampas brem, mengingat karakteristik bahan baku yang unik (merupakan sisa fermentasi dari brem) dan perlu diciptakan alat destilasi yang lebih baik sehingga proses menjadi lebih efisien dan lebih hemat biaya.

## REFERENSI

1. Amerine, M. A., H. W. Berg dan R. E. Kunkee, C. S. Ough, V. I Singleton dan A. D. Webb., *Technology of Wine Making*, Westport, Connecticut. The AVI Publ. Co. Inc., 1987.
2. Badan Standardisasi Nasional, *Kue brem, Mutu dan cara uji*, Jakarta, SNI 01-2559-1992, 1992.
3. Susanto dan Saneto, *Teknologi Pengolahan Hasil Pertanian*, Surabaya, Bina Ilmu, 1994.
4. Balai Besar Teknologi Pati-BPPT, *Analisis limbah cair hasil destilasi bioetanol dari bahan baku ubi kayu* (Laporan Penelitian), Jakarta, Bioteknologi Biomassa BPPT, 1995.
5. Krisnawati, L., *Struktur Anatomi, Kadar Ekstraktif dan Kadar Abu Kayu Sengon Buto (Enterolobium cyclocarpum, Griseb)*, Yogyakarta, Institut Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian (Instiper), 1996.
6. Brown, M.A., Levine, M.D., Romm, J.P.P., Koomey, J.H. *Engineering-economic studies of energy technologies to reduce green house gas emissions: opportunities and challenges*, Annual review of energy environment (1998), 23: 31–39, 1998.
7. Fithriani D, Rodiah N, bakti BS, *Ekstraksi selulosa dari limbah pembuatan karaginan*, *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 2(2). 91–97, 2007.
8. Odling-Smee, L, *Biofuel bandwagon hits a rut*, Nature 446: 483, 2007.
9. Carere, C.R., Sparling, R., Cieek, N., and Levin, D.B, *Third generation biofuel via direct cellulose fermentation*, International Journal of Molecular Sciences (2008), 9: 1342–1360, 2008.
10. Gomez, L.D., Steel-King, CO., and McQueen-Mason, J. *Sustainable liquid biofuels from biomass: the writing's on the wall* New Philologist (2008) 178: 473–485, 2008.
11. Harvey, Ferry. *Bioetanol Berbahan Dasar Ampas Rumput Laut*. Undergraduate Thesis. Bogor Agricultural University. 2008.
12. Hayun A., *Prioritas pengembangan energy alternative biofuel di Indonesia*. <http://mmt.its.ac.id/libraiy/wp%27Content/uploads/2008/12/4%27anggara-hayun%27a.pdf>, 2008.
13. Wahid, L.M, *Pemanfaatan bioethanol sebagai bahan bakar kendaraan berbahan bakar premium*. [http://w%27v. geocities.com/markal\\_bppt/publish/biofbbm/biwahid.pdf](http://w%27v. geocities.com/markal_bppt/publish/biofbbm/biwahid.pdf), 2008.
14. Triwisari D.A., *Fraksinasi Polisakarida Beberapa Jenis Rumput Laut* [skripsi]. Institut Pertanian Bogor, 2010.