



ISSN 1412 5641

MediaTeknika

Jurnal Teknologi

Vol. 12, No. 1, Juni 2017

**Penyusunan Kebutuhan Perancangan Mesin Hemodialisis Menggunakan
Kansei Engineering Serta Aplikasi QFD dan TRIZ**

Khawarita Siregar, Rosnani Ginting, Syahrul Fauzi Siregar

**Penjadwalan Tenaga Kerja untuk Menentukan *Regular Days Off* (RDOs)
dengan Menggunakan Algoritma *Monroe***

Khalida Syahputri, Jelly Leviza, T. Keizerina Devi

**Analisis Tegangan Roda Gigi Miring pada Transmisi Kendaraan
Roda Empat berdasarkan AGMA dan ANSYS**

Hadi Sutanto

**Pengaruh *Hard Chrome Plating* pada Peningkatan Kekerasan Baja
Komponen Kincir**

Budi Setyahandana, Yohanes Eko Christianto

**Karakteristik Kinerja Mesin Diesel Stasioner dengan Bahan Bakar
Campuran Biodiesel dari Biji Kemiri Sunan**

Farida Ariani, Elisabeth Ginting, Tulus Burhanuddin Sitorus

**Visualisasi Aturan Asosiasi Berbasis *Graph*
untuk Data Tindak Kejahatan**

Eduardus Hardika Sandy Atmaja

**Pemodelan Proses Pemilihan Rute pada Protokol Babel dengan *Activity
Diagram* dan *Transition System***

Vittalis Ayu

MediaTeknika

Jurnal Teknologi

Volume 12 Nomor 1, Juni 2017

- Editor in chief : Dr. Ir. Iswanjono, M.T., IPM.
- Editorial Boards : Sudi Mungkasi, S.Si., M.Math.Sc., Ph.D.
Dr. Ir. Y. B. Lukiyanto, M.T.
Damar Wijaya, S.T., M.T., Ph.D.
Drs. Haris Sriwindono, M.Kom., Ph.D.
- Editors : Ir. Ignatius Aris Dwiatmoko, M.Sc.
Vittalis Ayu, S.T., M.Cs.
- Administrator and Circulations : Paulina Heruningsih Prima Rosa, S.Si., M.Sc.
Catharina Maria Sri Wijayanti, S.Pd.
- Contact us : Media Teknika Journal Office
Universitas Sanata Dharma
Kampus III Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman
Yogyakarta 55282
Phone. : +62 274 883037 ext. 523110, 52320
Fax. : +62 272 886529
e-mail : mediateknika@usd.ac.id
situs :
<http://www.usd.ac.id/mediateknika>
<http://e-journal.usd.ac.id/index.php/MediaTeknika>

Media Teknika Jurnal Teknologi is managed by Faculty of Science and Technology, Sanata Dharma University for scientific communication in research areas of engineering, technology, and applied sciences. Its scope also covers research and review articles in basic sciences which relate to technology including mathematics, physics, and chemistry.

Media Teknika Jurnal Teknologi was known as Media Teknika : Majalah Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Media Teknika

Jurnal Teknologi

Vol. 12, No. 1, Juni 2017

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
EDITORIAL	ii
Penyusunan Kebutuhan Perancangan Mesin Hemodialisis Menggunakan Kansei Engineering Serta Aplikasi QFD dan TRIZ <i>Khawarita Siregar, Rosnani Ginting, Syahrul Fauzi Siregar</i>	1 – 9
Penjadwalan Tenaga Kerja untuk Menentukan <i>Regular Days Off</i> (RDOs) dengan Menggunakan Algoritma <i>Monroe</i> <i>Khalida Syahputri, Jelly Leviza, T. Keizerina Devi</i>	10 – 16
Analisis Tegangan Roda Gigi Miring pada Transmisi Kendaraan Roda Empat berdasarkan AGMA dan ANSYS <i>Hadi Sutanto</i>	17 – 25
Pengaruh <i>Hard Chrome Plating</i> pada Peningkatan Kekerasan Baja Komponen Kincir <i>Budi Setyahandana, Yohanes Eko Christianto</i>	26 – 35
Karakteristik Kinerja Mesin Diesel Stasioner dengan Bahan Bakar Campuran Biodiesel dari Biji Kemiri Sunan <i>Farida Ariani, Elisabeth Ginting, Tulus Burhanuddin Sitorus</i>	36 – 45
Visualisasi Aturan Asosiasi Berbasis <i>Graph</i> untuk Data Tindak Kejahatan <i>Eduardus Hardika Sandy Atmaja</i>	46 – 57
Pemodelan Proses Pemilihan Rute pada Protokol Babel dengan <i>Activity Diagram</i> dan <i>Transition System</i> <i>Vitalis Ayu</i>	58 – 66

EDITORIAL

Salam sejahtera,

Dengan mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, kami hadir kembali menemui para Pembaca yang berbahagia.

Volume 12 nomor 1 menyajikan 7 makalah yang terdiri dari 2 makalah karya ilmiah bidang Teknik Industri, 3 makalah dari Teknik Mesin, dan 2 makalah dari Teknik Informatika. Semua makalah ini merupakan hasil penelitian serta kajian yang luas dan mendalam di bidangnya.

Perlu kami sampaikan bahwa mulai volume 12 nomor 1 ini semua makalah selain dimuat pada situs <http://usd.ac.id/mediateknika> juga akan dimuat pada situs <http://e-journal.usd.ac.id/index.php/MediaTeknika>. Secara bertahap kami melakukan pengarsipan semua makalah yang pernah diterbitkan di jurnal Media Teknika ke situs <http://e-journal.usd.ac.id/index.php/MediaTeknika>.

Akhir kata, Dewan Redaksi berharap bahwa semoga kehadiran jurnal teknologi Media Teknika ini bermanfaat dalam penyebaran IPTEKS untuk membantu masyarakat yang membutuhkannya. Kami selalu terbuka menerima kritik dan saran dari Pembaca agar kami bisa melakukan perbaikan dari waktu ke waktu.

Sekian dan terima kasih.

Salam,

Redaktur

Penyusunan Kebutuhan Perancangan Mesin Hemodialisis Menggunakan Kansei Engineering Serta Aplikasi QFD dan TRIZ

Khawarita Siregar¹, Rosnani Ginting², Ikhsan Siregar³

^{1,2,3}Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Jl. Almamater, Kampus USU, Medan 20155

¹e-mail: khawaritasiregar@yahoo.co.id

²e-mail: rosnani_usu@yahoo.co.id

³e-mail: siregar_ix@yahoo.com

Abstract

Means of public health is a component in accelerating the improvement of public health degree. Hospitals as health facilities have a very strategic role in providing quality services in accordance with established standards and can reach the whole community. One installation that needs improvement is the quality of instalasai Hemodialysis. The number of patients is increasing every year must be accompanied by improvement of quality of service installation. Based on observations, there were some complaints of patients on hemodialysis installation services. This study intends to improve the quality of care in hemodialysis installations by crafting needs hemodialysis machine design using Kansei Engineering, as well as the application of Quality Function Deployment (QFD) and TRIZ. Kansei Engineering is used to ensure that a service fulfills the desired emotional response. Subsequently used QFD to improve customer satisfaction by improving the quality of services installation hemodialysis. Results of QFD point to contradictions, namely repair and maintenance service of the machine with the alert medics and repair and maintenance of the machine with the cleanliness and comfort of installation. The results showed that the installation of Hemodialysis Patients in fact want a friendly atmosphere of doctors, nurses, and the reception clerk and the condition of hemodialysis machines and devices work properly.

Keywords: Kansei Engineering, QFD, TRIZ, Hemodialysis Installation, Quality of Service

1. Pendahuluan

Sarana kesehatan masyarakat merupakan komponen dalam mempercepat peningkatan derajat kesehatan masyarakat. Rumah sakit sebagai sarana kesehatan memiliki peran sangat strategis dalam memberikan pelayanan yang bermutu sesuai dengan standar yang ditetapkan dan dapat menjangkau seluruh lapisan masyarakat. Pelayanan bermutu yang dimaksud adalah rumah sakit mampu memberikan kepuasan kepada pasien dari fasilitas dan pelayanan rumah sakit terhadap pasien. Kepuasan pasien tersebut menjadi tolok ukur dari kualitas rumah sakit sehingga masalah yang timbul pada kepuasan pasien dapat menjadi bahan evaluasi bagi rumah sakit.

Instalasi Hemodialisis merupakan unit dari rumah sakit yang berfungsi sebagai tempat proses pembersihan darah dari zat-zat sampah, melalui proses penyaringan di luar tubuh. Hemodialisis secara umum dikenal dengan nama Cuci Darah.

Data Persatuan Nefrologi Indonesia (PERNEFRI) menunjukkan pada tahun 2011 terdapat sekitar 70 ribu orang pasien Gagal Ginjal Kronik (GGK) di Indonesia. Data dari RSUD Dr. Pirngadi Medan pada tahun 2010–2013 menunjukkan peningkatan setiap tahunnya. Peningkatan penderita penyakit gagal ginjal di RSUD Dr. Pirngadi Medan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Penderita Penyakit Gagal Ginjal di RSUD Dr. Pirngadi Medan

No.	Bulan	Tahun	Jumlah Pasien (Orang)
1	Oktober	2013	178
2	November	2013	176
3	Desember	2013	179

Sumber : RSUD Dr. Pirngadi Medan

Peningkatan jumlah penderita merupakan salah satu fenomena yang menjadi perhatian khusus bagi rumah sakit. Fenomena tersebut mendorong rumah sakit untuk secara terus menerus meningkatkan mutu pelayanan bagi pasien.

Hasil wawancara terhadap 30 pasien menghasilkan beberapa keluhan terhadap pelayanan di Instalasi hemodialisis dari beberapa rumah sakit yang ada di Provinsi Sumatera Utara. Rekapitulasi keluhan hasil wawancara dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Keluhan Pasien terhadap Pelayanan Instalasi Hemodialisis

No	Keluhan
1	Ruang kurang bersih
2	Jumlah perawat yang sedikit
3	Waktu menunggu untuk memulai proses hemodialisis lama
4	Ruang tunggu kurang nyaman
5	Aroma ruangan yang mengganggu
6	Kondisi ruangan yang cukup berisik
7	Perawat kurang ramah

Fenomena tersebut menunjukkan bahwa kualitas pelayanan pada instalasi hemodialisis perlu ditingkatkan. Penelitian ini mengaplikasikan metode *Kansei Engineering*, QFD dan TRIZ untuk mengatasi fenomena tersebut. Metode *Kansei Engineering*, QFD dan TRIZ diharapkan mampu mendapatkan suara pasien instalasi hemodialisis sebagai kebutuhan dalam perancangan mesin hemodialisis. *Kansei Engineering* adalah metode yang digunakan untuk menerjemahkan perasaan pelanggan ke dalam spesifikasi desain. *Kansei Engineering* merupakan proses rekayasa dari data *kansei* untuk merancang produk dan jasa. (Mitsuo Nagamichi, 2011). *Kansei Engineering* digunakan untuk memastikan bahwa suatu jasa pelayanan rumah sakit memenuhi tanggapan emosional yang diinginkan. Proses ini memungkinkan untuk memodelkan perasaan/emosi pasien dan kemudian menerjemahkannya ke dalam parameter desain (Markus Hartono, 2012). *Kansei Engineering* kemudian diintegrasikan ke dalam proses *Quality Function Deployment* (QFD) untuk memperbaiki kepuasan konsumen dengan meningkatkan kualitas pada pelayanan rumah sakit. QFD dapat digunakan untuk menerjemahkan kebutuhan pelanggan kedalam spesifikasi teknis tertentu. Teknik QFD membantu dalam mendefinisikan unit pengukuran dan memberikan suatu kerangka kerja untuk mengevaluasi *trade-offs* di antara berbagai kombinasi dari fitur desain (Lou Cohen, 1995). QFD digunakan untuk menemukan kebutuhan pelanggan untuk menargetkan segmen pelanggan. QFD memungkinkan untuk mengkonversi kebutuhan pelanggan ke dalam produk, jasa, dan fitur baru untuk memikat dan menarik pelanggan baru serta mempertahankan pelanggan lama. QFD dirancang untuk meningkatkan kepuasan pelanggan dengan meningkatkan kualitas produk dan jasa (Cary Talbot dkk, 2011). TRIZ adalah metode untuk menangani masalah khusus atau penghalang dalam melakukan inovasi. Masalah tersebut adalah kontradiksi baik fisik maupun teknis. Kontradiksi fisik membawa kepada empat pemisahan TRIZ, sementara kontradiksi teknis membawa kepada 40 prinsip inventif (David

Silverstein dkk, 2008). TRIZ digunakan untuk menyelesaikan kontradiksi pada respon teknis. TRIZ merupakan alat pemecahan masalah, analisis dan peramalan yang berasal dari studi tentang pola-pola penemuan dalam literatur paten global (Kah-Hin Chai dkk, 2005).

2. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di rumah sakit umum dan rumah sakit swasta yang memiliki instalasi hemodialisis yang ada di provinsi Sumatera Utara pada tahun 2015.

Penelitian dimulai dengan melakukan survei pendahuluan terhadap pelayanan instalasi hemodialisis di rumah sakit. Survei pendahuluan bertujuan untuk mendapatkan keluhan pasien terhadap pelayanan instalasi hemodialisis. Keluhan ini dikombinasikan dengan literatur yang berhubungan dengan standar pelayanan instalasi hemodialisis untuk mendapatkan atribut perbaikan yang kemudian dijadikan atribut-atribut pertanyaan pada kuesioner *Kansei Engineering*. Kuesioner *Kansei Engineering* menggunakan *kansei word* pada pemilihannya. *Kansei word* menjadi dasar penilaian pasien terhadap atribut pertanyaan yang ada. Hasil dari kuesioner *Kansei Engineering* selanjutnya dianalisis menggunakan regresi linier berganda metode *stepwise* untuk mendapatkan atribut yang menjadi pilihan konsumen berdasarkan *kansei word* yang diberikan pada kuesioner. Langkah selanjutnya adalah pembuatan matriks *House of Quality* (HOQ). HOQ dibangun berdasarkan atribut produk yang telah terpilih pada kuesioner *Kansei Engineering*. HOQ digunakan untuk mendapatkan karakteristik pelayanan teknis yang bermutu dan sesuai dengan keinginan pelanggan. Rumah mutu dibangun berdasarkan data kebutuhan pelanggan yang dipilih menggunakan *Kansei Engineering*. Penilaian atribut dengan melihat tingkat hubungan antar atribut dan hubungan atribut dengan karakteristik pelayanan. Hasil dari tahap ini adalah referensi desain dari pelayanan instalasi hemodialisis yang diinginkan oleh pasien yang ada di rumah sakit. Selanjutnya kontradiksi yang muncul dari HOQ direduksi dengan menggunakan pendekatan TRIZ agar diperoleh solusi untuk peningkatan mutu pelayanan instalasi hemodialisis dalam penyusunan kebutuhan perancangan mesin hemodialisis.

3. Hasil dan Pembahasan

Kuesioner *Kansei Engineering* dibuat berdasarkan penilaian emosional responden dengan kedelapan *kansei word* terhadap 12 atribut pertanyaan. Atribut pertanyaan pada kuesioner *Kansei Engineering* adalah:

1. Prosedur penerimaan pasien dilaksanakan dengan cepat
2. Keramahan petugas penerimaan
3. Keramahan dokter dan perawat yang menangani pasien
4. Dokter memahami keluhan pasien
5. Respon dokter yang cepat tanggap
6. Kerapian penampilan dokter dan perawat
7. Mesin dan alat hemodialisis berfungsi dengan baik
8. Kebersihan ruangan instalasi hemodialisis
9. Informasi disampaikan dengan jelas terhadap pasien
10. Kualitas pelayanan unit hemodialisis yang baik
11. Unit hemodialisis telah memenuhi persyaratan medis
12. Pelayanan teknis mesin hemodialisis yang baik

Kansei word yang digunakan pada kuesioner *Kansei Engineering* adalah:

Kansei Word 1 : suka – tidak suka

Kansei Word 2 : nyaman – tidak nyaman

Kansei Word 3 : puas – tidak puas

Kansei Word 4 : ramah – tidak ramah

Kansei Word 5 : dapat dipercaya – tidak dapat dipercaya

Kansei Word 6 : bersih – kotor

Kansei Word 7 : sehat – tidak sehat

Kansei Word 8 : bersahabat – tidak bersahabat

Analisis atribut *Kansei Engineering* menggunakan regresi linier berganda metode *stepwise*. Uji regresi linier berganda metode *stepwise* dimulai dengan melihat korelasi antara variabel independen terhadap variabel dependen. Nilai korelasi atribut tertinggi kemudian dipilih untuk dimodelkan dalam model regresi. Ketika atribut tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap *kansei word* maka atribut lain yang memiliki nilai korelasi tertinggi berikutnya dipilih untuk dimodelkan dalam model regresi.

Pemodelan dilakukan secara terus menerus terhadap atribut yang memiliki nilai korelasi tertinggi lainnya dan berhenti pada atribut terakhir yang tidak memiliki pengaruh signifikan. Tabel 3 menunjukkan model regresi yang diperoleh dengan memasukkan satu per satu atribut sistem pelayanan.

Tabel 3. Tabulasi Perhitungan Regresi untuk *Kansei Word 1*

No	Atribut	Model Regresi	F_{hitung}	F_{tabel}	R^2
1	11	$Y = 36,689 + 1,633 x_{11}$	16,392	3,99	0,203
2	2 dan 11	$Y = 32,0708 + 1,3646x_{11} + 1,5415x_2$	17,043	3,14	0,351
3	2,4,11	$Y = 29,680 + 1,312x_{11} + 1,339x_2 + 0,988x_4$	16,290	2,75	0,441
4	2,4, 8,11	$Y = 28,039 + 1,106x_{11} + 1,448x_2 + 7,63x_4 + 0,799x_8$	14,303	2,52	0,484
5	2,4,6, 8,11	$Y = 25,469 + 1,086x_{11} + 1,414x_2 + 0,691x_4 + 0,733x_8 + 0,860x_6$	14,269	2,3	0,534
6	1,2,4, 6,8,11	$Y = 115,7400 + 1,145x_1 + 0,880x_2 + 1,443 x_3 + 0,739x_4 + 0,636x_5 + 0,630x_6$	20,433	2,25	0,475

Tabel 3. menunjukkan bahwa atribut 2, 4, 6, 8, dan 11 memberikan pengaruh yang signifikan ($F_{hitung} > F_{tabel}$) terhadap peningkatan rasa suka pasien terhadap sistem pelayanan dan memiliki koefisien determinasi tertinggi sehingga model regresi yang diperoleh dari pengujian regresi untuk atribut 2, 4, 6, 8, dan 11 menjadi model terpilih. Hal tersebut juga dilakukan untuk *kansei word* lainnya.

Tabel 4. Hasil Uji Regresi Linier Berganda *Kansei Words* terhadap Atribut Pelayanan

No	<i>Kansei Word</i>	$P\text{-value}$	R^2	<i>Significant Model</i>
1	Suka	0,000	0,534	$Suka = 25,469 + 1,086x_{11} + 1,414x_2 + 0,691x_4 + 0,733x_8 + 0,860x_6$
2	Nyaman	0,000	0,496	$Nyaman = 29,966 + 1,059x_3 + 1,618x_4 + 0,918x_6$
3	Puas	0,000	0,517	$Puas = 20,554 + 1,085x_4 + 1,716x_5 + 1,146x_9 + 1,443x_{10} + 1,296x_{12}$
4	Ramah	0,000	0,136	$Ramah = 40,436 + 0,047x_2 + 1,618x_3$
5	Dapat dipercaya	0,000	0,254	$Dipercaya = 30,358 + 1,211x_3 + 1,251x_4 + 1,022x_5$
6	Bersih	0,000	0,039	$Bersih = 38,055 + 0,844x_8$
7	Sehat	0,000	0,271	$Sehat = 34,174 + 1,333x_8 + 1,021x_9$
8	Bersahabat	0,000	0,107	$Bersahabat = 36,874 + 0,813x_1 + 0,579x_2 + 0,125x_3$

Tabel 4 menunjukkan model signifikan dari masing-masing atribut terhadap *kansei word*. Model regresi yang diperoleh signifikan karena $p\text{-value} < 0,05$. Nilai koefisien determinasi (R^2) menunjukkan besarnya pengaruh atribut pelayanan terhadap perasaan emosional pasien.

Selanjutnya dilakukan penyusunan QFD berdasarkan hasil dari *Kansei Engineering*. QFD dimulai dengan menentukan *Customer Importance* (CI) dan Karakteristik teknis dari pelayanan

rumah sakit. CI diperoleh berdasarkan atribut pelayanan yang memberikan pengaruh terhadap kebutuhan emosional pasien kemudian dilakukan penentuan tingkat kepentingan berdasarkan masing-masing atribut. CI terhadap Layanan Instalasi Hemodialisis beserta persentase kepentingannya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. *Customer Importance* (CI) terhadap Layanan Instalasi Hemodialisis Beserta Kepentingan Relatif

Atribut	Kansei Word	CI
Prosedur penerimaan pasien dilaksanakan dengan cepat	Bersahabat	0,0840
Keramahan petugas penerimaan	Suka, Ramah, Bersahabat	0,0801
Keramahan dokter dan perawat yang menangani pasien	Nyaman, Ramah, Dapat dipercaya, Bersahabat	0,0787
Dokter memahami keluhan pasien	Suka, Nyaman, Puas, Dapat dipercaya	0,0910
Respon dokter yang cepat tanggap	Puas, Dapat dipercaya	0,1016
Kerapian penampilan dokter dan perawat	Suka, Nyaman	0,0675
Mesin dan alat hemodialisis berfungsi dengan baik	Sehat	0,0910
Kebersihan ruangan instalasi hemodialisis	Sehat, Bersih	0,0946
Informasi disampaikan dengan jelas terhadap pasien	Puas	0,0801
Kualitas Pelayanan unit hemodialisis yang baik	Puas	0,0654
Unit hemodialisis telah memenuhi persyaratan medis	Suka	0,0801
Pelayanan teknisi mesin hemodialisis yang baik	Puas	0,0858

Nilai *Customer Importance* digunakan untuk menentukan bobot kepentingan atribut kebutuhan pasien serta menentukan tingkat kepentingan absolut dari respon teknis. Penentuan karakteristik dari instalasi hemodialisis dilakukan dengan melakukan wawancara dengan pihak instalasi hemodialisis. Karakteristik pelayanan instalasi hemodialisis rumah sakit dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Karakteristik Pelayanan Instalasi Hemodialisis

No	Karakteristik Pelayanan
1	Kompetensi petugas medis
2	Jumlah petugas medis
3	Jumlah mesin hemodialisis
4	Kebersihan dan kenyamanan instalasi
5	Komunikasi baik dengan pasien
6	Kesiagaan petugas medis
7	Kelengkapan peralatan medis, <i>reuse dialiser</i> , sterilisasi
8	Kemudahan informasi
9	Prosedur pelayanan
10	Perbaikan dan perawatan mesin

Setelah penentuan karakteristik teknis dilakukan, HOQ mulai disusun. HOQ disusun berdasarkan data-data yang telah ditentukan sebelumnya dan berdasarkan langkah-langkah

dalam penyusunan QFD. Hasil penyusunan HOQ untuk pelayanan unit hemodialisis dapat dilihat pada Gambar 1.

Matriks HOQ menunjukkan bahwa nilai *sales point* tertinggi adalah prosedur penerimaan pasien dilaksanakan cepat, respon dokter yang cepat tanggap, mesin dan alat hemodialisis berfungsi dengan baik, dan kualitas pelayanan unit hemodialisis yang baik. Variabel dengan nilai *sales point* tertinggi berarti bahwa atribut tersebut sangat penting sehingga perlu diperbaiki kinerjanya saat ini. Variabel tersebut akan menjadi input untuk perancangan *Standard Operational Procedure* (SOP) pasien dan SOP perawat dan perancangan mesin hemodialisis agar sesuai dengan atribut yang diinginkan pelanggan.

Hasil dari *House of Quality* menunjukkan bahwa komunikasi yang baik dengan pasien memiliki tingkat kepentingan tertinggi sebesar 2,572 dan *relative cost* sebesar 6,061. Karakteristik komunikasi yang baik dengan pasien menjadi prioritas utama untuk dilakukan perbaikan.

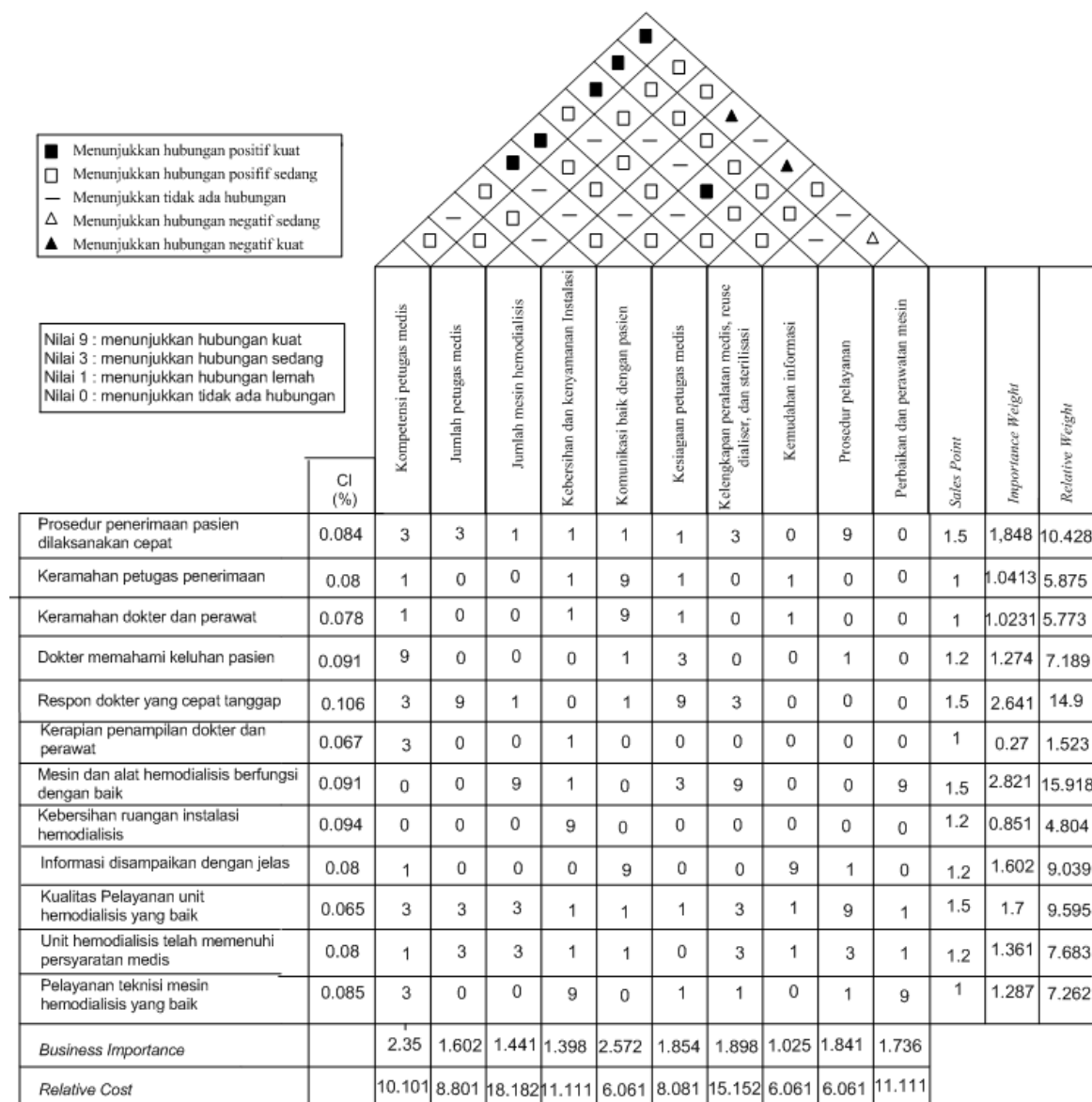
Berdasarkan hasil *House Of Quality*, terdapat 2 karakteristik pelayanan yang saling berlawanan, artinya antar karakteristik pelayanan tersebut memiliki hubungan negatif. Kontradiksi tersebut adalah:

1. Perbaikan dan perawatan mesin dengan kesiagaan petugas medis.
2. Perbaikan dan perawatan mesin dengan kebersihan dan kenyamanan instalasi

Kontradiksi tersebut diselesaikan dengan metode TRIZ.

Karakteristik perbaikan dan perawatan mesin hemodialisis berkontradiksi dengan karakteristik pelayanan kesiagaan petugas medis. Mesin hemodialisis perlu dilakukan perawatan untuk menjaga mesin agar tetap berfungsi dengan baik. Mesin juga perlu dilakukan perbaikan ketika mengalami kerusakan dengan segera dikarenakan jumlah mesin yang cukup terbatas. Perbaikan dan perawatan yang dilakukan menyita waktu yang seharusnya dapat digunakan untuk melakukan proses hemodialisa. Dokter dan perawat bersiaga di instalasi hemodialisis namun tugas mereka akan terhambat ketika mesin yang dibutuhkan untuk proses hemodialisa sedang dalam perbaikan. Penyelesaian kontradiksi perbaikan dan perawatan mesin dengan kesiagaan petugas medis ditunjukkan pada Tabel 7.

General Solution dilaksanakan dengan menggunakan *The 40 Principles of TRIZ* dan diberikan sebuah *General Solution* yakni *Discarding and Recovering*. *Discarding and Recovering* adalah penyediaan suku cadang dari objek/mesin langsung pada saat perbaikan.



Gambar 1. HOQ Pelayanan Instalasi Hemodialisis

Tabel 7. Solusi dari Kontradiksi Perbaikan dan Perawatan Mesin dengan Kesiagaan Petugas Medis

	Useful Feature	Harmful Feature
Spesific Problem	Perbaikan dan perawatan mesin	Kesiagaan petugas medis
General Problem	<i>Ease of repair</i> (34)	<i>Speed</i> (9)
General Problem	Karakteristik kualitas untuk memperbaiki kesalahan, kegagalan atau cacat pada objek (mesin)	Tingkatan dari sebuah proses (sistem) yang dibutuhkan dalam satuan waktu
General Solution	<i>Discarding and Recovering</i> (34) Hasil Analisis <i>The 40 Principles of TRIZ</i> diberikan sebuah <i>General Solution</i> yakni <i>Discarding and Recovering</i> . <i>Discarding and Recovering</i> adalah menyediakan suku cadang dari objek/mesin langsung pada saat perbaikan.	

Karakteristik pelayanan perbaikan dan perawatan mesin berkontradiksi dengan karakteristik pelayanan kebersihan dan kenyamanan instalasi hemodialisis. Perbaikan dan perawatan mesin memberikan masalah lain selain terhadap kesiagaan petugas medis ketika

karakteristik tersebut diperbaiki. Perbaikan dan perawatan mesin hemodialisis dilakukan di dalam ruang instalasi, sedangkan ruang instalasi tersebut berlokasi yang sama dengan tempat para pasien melakukan proses hemodialisa dan dilakukan dalam waktu yang sama. Kondisi ini menyebabkan ketidaknyamanan pasien serta membuat ruangan kotor.

Penyelesaian kontradiksi perbaikan dan perawatan mesin dengan kebersihan dan kenyamanan instalasi ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Solusi dari Kontradiksi Perbaikan dan Perawatan Mesin dengan Kebersihan dan Kenyamanan Instalasi

	<i>Useful Feature</i>	<i>Harmful Feature</i>
Spesific Problem	Perbaikan dan perawatan mesin	Kebersihan dan kenyamanan instalasi
General Problem	<i>Ease of repair</i> (34) Karakteristik kualitas untuk memperbaiki kesalahan, kegagalan atau cacat pada objek (mesin)	<i>Shape</i> (12) Penampilan dari sistem (instalasi hemodialisis)
General Solution	<i>Taking Out</i> (2) Hasil Analisis <i>The 40 Principles of TRIZ</i> diberikan sebuah <i>General Solution</i> yakni <i>Taking Out</i>. <i>Taking Out</i> adalah memisahkan salah satu objek keluar instalasi. Objek yang bisa dikeluarkan dari instalasi dalam hal ini adalah proses perbaikan dan perawatan mesin.	

General Solution dilaksanakan dengan menggunakan *The 40 Principles of TRIZ* dan diberikan sebuah *General Solution* yakni *Taking Out*. *Taking Out* adalah memisahkan salah satu objek keluar instalasi. Objek yang bisa dikeluarkan dari instalasi dalam hal ini adalah proses perbaikan dan perawatan mesin.

4. Kesimpulan

Penggunaan *Kansei Engineering* dan QFD dapat menunjukkan kebutuhan pasien akan pelayanan instalasi Hemodialisis pada rumah sakit. Kebutuhan pasien ditentukan berdasarkan *Kansei Engineering* yang menunjukkan besarnya kepuasan pelanggan terhadap atribut pelayanan dikaitkan dengan perasaan/emosional pasien. Pasien menginginkan keramahan petugas dan dokter dalam pelayanan, selain itu pasien juga menginginkan dokter cepat tanggap dan dapat memahami keluhan dari konsumen. Peningkatan pelayanan pada atribut ini perlu dilakukan agar kualitas pelayanan semakin meningkat.

Berdasarkan hasil QFD, prioritas perbaikan perlu ditingkatkan pada mesin dan alat hemodialisis. Mesin dan alat hemodialisis menjadi kebutuhan pasien terpenting yang perlu ditingkatkan pihak instalasi hemodialisis (*importance weight* = 2,821) dan selain itu, komunikasi dengan pasien juga perlu ditingkatkan oleh dokter, perawat dan petugas penerimaan instalasi hemodialisis (*business importance* = 2,572) agar saran yang diberikan dokter dapat tersampaikan dan keluhan pasien dapat dimengerti dokter sehingga sistem pelayanan pada instalasi hemodialisis berjalan lancar.

Perbaikan pelayanan yang dilakukan berdasarkan TRIZ adalah menyediakan suku cadang mesin hemodialisis berdasarkan jenis kerusakan yang sering terjadi sehingga proses perbaikan dan perawatan dapat berlangsung singkat, serta disarankan untuk menyediakan ruangan khusus perbaikan mesin hemodialisis guna menghindari ketidaknyamanan ruang perawatan dan menjaga ruangan perawatan agar tidak mudah kotor

Pasien Instalasi Hemodialisis secara faktual menginginkan suasana yang bersahabat dari dokter, perawat, dan petugas penerimaan serta kondisi mesin dan alat hemodialisis yang berfungsi dengan baik. Kebutuhan tersebut dapat terwujud pada sistem pelayanan dengan

meningkatkan komunikasi yang baik antar pasien dengan dokter dan perawat serta melakukan perawatan mesin secara berkala.

Daftar Pustaka

- [1] Cohen, Lou. *Quality Function Deployment, How to make QFD Work for You*. New York: Addison-Wesley Publishing Company. 1995.
- [2] Hartono, Markus, *Kerangka Konseptual Aplikasi Kansei Engineering dan TRIZ pada Industri Layanan*. Nopember 2012.
- [3] Kah-Hin Chai dkk, *A TRIZ Based Method for New Service Design*. Agustus 2005.
- [4] Nagamichi, Mitsuo, *Kansei/Affective Engineering*. New York: CRC Press. 2011.
- [5] Peraturan Menteri Kesehatan RI, Nomor:129/Menkes/SK/II/ 2008, tentang Standar Pelayanan Minimal Rumah Sakit.
- [6] Profil Kesehatan Provinsi Sumatera Utara Tahun 2012, Dinas Kesehatan Provinsi Sumatera Utara.
- [7] Silverstein, David dkk, *Insourcing Innovation : How to Achieve Competitive Excellence using TRIZ*. New York: CRC Press.2008.
- [8] Talbot, Cary dkk, *A QFD process at Medtronic Diabetes, International Symposium of QFD* .Desember 2011.

Penjadwalan Tenaga Kerja untuk Menentukan *Regular Days Off* (RDOs) dengan Menggunakan Algoritma *Monroe*

Khalida Syahputri¹, JellyLeviza², T.Keizerina Devi³

¹Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

²Fakultas Hukum, Universitas Sumatera Utara

Jl. Almamater No.4, Kampus USU, Medan, Sumatera Utara

email: syahputri.khalida@gmail.com, levizajelly@gmail.com, deviazwar@yahoo.com

Abstract

ABC Company is a company producing rubber crumb (crumb rubber) in the form of bales with quality SIR 5, SIR 10, and SIR 20. The processing is done consists of several work stations that are continuous. Scheduling the work force in the company is considered less precise in providing holidays and working time, because hiring labor for 7 business days to achieve the production target and exceed 40 hours worked during the week. This is not in accordance with the Decree of the Minister of Manpower of the Republic of Indonesia No.102/MEN/IV/2004 and Law of the Republic of Indonesia No.13 of 2003 on Manpower. So it is necessary to apply a good scheduling system for labor production process, one of the laborscheduling algorithm is to use Monroe. The manpower requirements for the entire production process is as many as 73 people. With the labor scheduling in PT.ABC still can work to meet production targets without disrupting weekday though individual workers get a day off two consecutive days alternately. Another advantage in labor scheduling algorithm Monroe with the company is able to minimize labor costs Rp.232.200.000/year.

Keywords: *scheduling, algoritma monroe, regular days off (RDOs)*

1. Pendahuluan

Perkembangan dalam dunia industri manufaktur dan unit jasa yang semakin pesat pada era globalisasi ini, ditandai dengan mulai berlangsungnya Masyarakat Ekonomi ASEAN (MEA) pada akhir tahun 2015. Salahsatu efek yang paling menonjol dalam era pasar bebas adalah meningkatnya kebutuhan dan persaingan industri yang berdampak secara signifikan terhadap kebutuhan tenaga kerja. Penjadwalan tenaga kerja dalam suatu perusahaan mempunyai peranan yang sangat penting dalam menentukan kualitas produk yang dihasilkan perusahaan. Ketenagakerjaan ini memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kepuasan konsumen.

PT. ABC adalah sebuah perusahaan yang bergerak dalam produksi karet remah (*Crumb Rubber*) dalam bentuk bal dengan standar mutu SIR (*Standard Indonesia Rubber*) 5, SIR 10, dan SIR 20. Perusahaan ini merupakan perusahaan *Make To Order* dan berorientasi ekspor. Proses produksi yang dilakukan terdiri dari beberapa stasiun kerja yang bersifat kontinu. Adapun stasiun kerja pada perusahaan ini adalah stasiun kerja pencincangan dan pembersihan, stasiun kerja penggilingan dan pembentukan lembaran, stasiun kerja peramahan dan pementasan, stasiun kerja pengeringan, stasiun kerja penimbangan dan pengepresan, dan stasiun kerja packing. Dalam kegiatan proses produksinya perusahaan ini memiliki target produksi yang harus dipenuhi, sehingga dengan besarnya permintaan yang diterima menyebabkan tenaga kerja bagian proses produksi harus sering bekerja lembur serta mengabaikan kelelahan fisik maupun mental.

Penjadwalan tenaga kerja yang dilakukan oleh perusahaan selama ini dianggap kurang tepat dalam memberikan hari libur dan waktu bekerja, karena mempekerjakan tenaga kerjanya selama 7 hari kerja untuk mencapai target produksi dan melebihi 40 jam bekerja

Diterima 12 Maret 2016; Direvisi 27 Juni 2016; Disetujui 23 September 2016

selama seminggu. Hal ini tidak sesuai dengan Keputusan Menteri Tenaga Kerja Republik Indonesia No. 102/MEN/IV/2004 dan Undang Undang Republik Indonesia No. 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan yang mewajibkan setiap pemilik usaha harus mempekerjakan tenaga kerjanya 40 jam bekerja dalam seminggu atau 5 hari bekerja dengan 8 jam kerja/hari.

Dengan kondisi yang demikian, tentu saja sangat mempengaruhi kualitas tenaga kerja yang menyebabkan menurunnya kualitas dan kuantitas produksi sehingga juga mengakibatkan tingkat produktivitas yang semakin menurun.

Bertitik tolak dari hal yang dikemukakan diatas, maka dalam penelitian ini bertujuan untuk merencanakan penjadwalan tenaga kerja berdasarkan kebutuhan jumlah tenaga kerja pada bagian proses produksi, sehingga pekerja dapat bekerja secara optimal dengan menggunakan Algoritma *Monroe* berdasarkan jumlah kebutuhan tenaga kerja optimal. Algoritma *Monroe* digunakan untuk merencanakan penjadwalan tenaga kerja berdasarkan penentuan waktu standar yang dibutuhkan oleh tenaga kerja dari setiap stasiun kerja, kebutuhan jumlah tenaga kerja optimal pada bagian proses produksi sehingga didapatkan penjadwalan hari kerja dan hari libur bagi tenaga kerja proses produksi.

Penjadwalan ini diterapkan dengan tujuan untuk mendapatkan 2 hari libur yang berurutan secara beraturan (*Regular Days Off*) selama seminggu. Tenaga kerja akan dijadwalkan untuk bekerja selama 5 hari dalam seminggu sehingga menciptakan kondisi kerja yang baik dan tidak melanggar peraturan yang telah ditetapkan oleh pemerintah serta target produksi tetap dapat tercapai.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam penelitian ilmu terapan untuk melakukan suatu perbaikan yang lebih efektif dan efisien. Jenis penelitian dengan kategori seperti ini disebut sebagai *Applied Scientific Research*. Adapun objek dalam penelitian ini seluruh tenaga kerja pada proses produksi yang terdiri dari stasiun kerja pencincangan dan pembersihan, stasiun kerja penggilingan dan pembentukan lembaran, stasiun kerja peremahan dan pembutiran, stasiun kerja pengeringan, stasiun kerja penimbangan dan pengepresan serta stasiun kerja pengemasan.

Agar penelitian berjalan secara sistematis, teratur dan efektif, kegiatan yang dilakukan saat penelitian dibagi dalam beberapa langkah. Pada tahap awal yang dilakukan adalah menentukan waktu standar tenaga kerja dalam menyelesaikan kegiatannya. Dalam pengukuran waktu standar dilakukan dengan menggunakan *stopwatch* sebagai instrumen penelitian. *Stopwatch* dijadikan sebagai alat ukur untuk menghitung rata-rata waktu yang dibutuhkan dalam satu siklus kegiatan. Setelah penentuan waktu standar, dilanjutkan perhitungan jumlah kebutuhan tenaga kerja optimal. Jumlah tenaga kerja optimal yaitu jumlah tenaga kerja seharusnya untuk menyelesaikan kerja sebesar yang diproduksi.

Langkah selanjutnya adalah penjadwalan tenaga kerja dengan menggunakan algoritma *Monroe*. Adapun langkah-langkah dalam penjadwalan ini terdiri dari 4 (empat) langkah, yaitu:
Langkah 1

Untuk setiap hari dalam waktu seminggu, dihitung *Regular Days Off* (RDOs) dengan cara mengurangkan kebutuhan tenaga kerja per hari dari keseluruhan tenaga kerja yang dipekerjakan. Penjumlahan kebutuhan akan tenaga kerja ini adalah kelipatan lima apabila tenaga kerja dijadwalkan untuk 5 hari kerja dalam seminggu. Jika kelipatan 5 ini tidak diperoleh, tambahkan kebutuhan akan tenaga kerja sebanyak 1 orang atau lebih perhari sampai kelipatan 5 diperoleh.

Langkah 2

Pada langkah ini ditentukan pasangan RDOs untuk 2 hari pertama minggu itu, sampai pasangan hari libur pertama itu berulang untuk kedua kalinya.

Langkah 3

Untuk percobaan pertama pada penjadwalan RDOs, tentukan sekitar setengah dari RDOs pada hari kedua untuk pasangan hari libur pertama. Kemudian kurangi hasil tersebut dari RDOs kedua, hasil pengurangan ini merupakan nilai pasangan hari libur kedua. Lakukan prosedur ini sampai semua pasangan hari libur mempunyai nilai. Jika pasangan hari libur pertama kejadian pertama dan kejadian kedua adalah sama, maka penjadwalan dihentikan, jika tidak maka dilanjutkan langkah 4.

Langkah 4

Menghitung nilai rata-rata dari pasangan hari libur pertama kejadian pertama dan kedua. Pakailah nilai ini untuk percobaan kedua pada penentuan pasangan hari libur yang pertama. Menggunakan kembali langkah 3 dan tentukan kembali nilai pasangan hari libur.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Penentuan Waktu Standar Tenaga Kerja

Berdasarkan uji keseragaman dan kecukupan data dari setiap kegiatan pada stasiun kerja di bagian proses produksi diperoleh nilai waktu standar untuk masing-masing kegiatan. Untuk stasiun kerja pencincangan dan pembersihan, stasiun kerja penggilingan dan pembentukan lembaran serta stasiun kerja peremahan dan pembutiran, tidak dilakukan perhitungan waktu standar, sebab pekerjaan operator pada kegiatan stasiun kerja tersebut hanya bersifat inspeksi. Sedangkan, untuk stasiun kerja pengeringan, penimbangan dan pengepresan serta stasiun kerja pengemasan dapat diperoleh nilai waktu standarnya seperti tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Waktu Standar Tiap Stasiun Kerja

Stasiun Kerja	Kegiatan	WS(detik)	WS(detik)
		Shift I	Shift II
Pengeringan	Pengisian <i>trolley</i>	864.29	865.43
	Mengeluarkan bokar	642.45	655.243
Penimbangan dan Pengepresan	Penimbangan	58.82	58.95
	Pengepresan	47.64	47.39
	Pendeteksian	36.91	38.135
Pengemasan	Pembungkusan	58.95	59.08
	Memindahkan	58.90	58.53

3.2. Jumlah Kebutuhan Tenaga Kerja Optimal

Berdasarkan perhitungan secara teoritis untuk jumlah tenaga kerja optimal pada bagian proses produksi yang diperoleh untuk masing-masing stasiun kerja dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah Kebutuhan Tenaga Kerja Optimal

No	Stasiun Kerja	Kebutuhan Shift I	Kebutuhan Shift II	Jumlah Tenaga Kerja
1	Pencincangan dan Pembersihan	7	7	14
2	Penggilingan dan Pembentukan Lembaran	9	9	18
3	Peremahan dan Pembutiran	2	2	4
4	Pengeringan	2	2	4
5	Penimbangan dan Pengepresan	3	3	6
6	Pengemasan	2	2	4

Sebagai bahan perbandingan antara jumlah kebutuhan tenaga kerja optimal yang diperoleh setelah perhitungan secara teoritis, berikut ini merupakan jumlah tenaga kerja aktual yang ada di perusahaan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Jumlah Tenaga Kerja Aktual

No	Stasiun Kerja	Kebutuhan Shift I	Kebutuhan Shift II	Jumlah Tenaga Kerja
1	Pencincangan dan Pembersihan	7	7	14
2	Penggilingan dan Pembentukan Lembaran	9	9	18
3	Peremahan dan Pembutiran	1	1	2
4	Pengeringan	8	8	16
5	Penimbangan dan Pengepresan	12	12	24
6	Pengemasan	4	4	8
Total				82

Berdasarkan perhitungan jumlah kebutuhan tenaga kerja, total kebutuhan tenaga kerja yang diperlukan adalah sebesar 50 orang, sedangkan jumlah tenaga kerja aktual yang ada dilantai produksi pabrik saat ini adalah sebanyak 82 orang.

Dalam hal ini tentu saja ada sebanyak 32 orang tenaga kerja yang tidak efektif pada lantai produksi. Kemudian 50 orang tenaga kerja ini akan dijadwalkan dengan menggunakan metode *Monroe* dengan tujuan untuk mendapatkan 2 hari libur yang adil bagi setiap tenaga kerja. Sementara untuk ke 32 orang tenaga kerja yang tidak efektif akan dialokasikan untuk masing-masing stasiun kerja agar penjadwalan 5 hari kerja dapat dijadwalkan.

3.3. Penjadwalan Tenaga Kerja Dengan Algoritma *Monroe*

Penjadwalan dengan algoritma *Monroe* menugaskan para tenaga kerjanya hampir merata setiap hari, sehingga memberikan hasil yang optimal dalam memecahkan masalah penjadwalan tenaga kerja untuk operasi selama 7 hari dalam seminggu, dimana setiap tenaga kerjanya akan bekerja selama 5 hari dalam seminggu dan mendapatkan 2 hari libur dalam seminggu.

Penjadwalan algoritma *Monroe* ini memiliki kelebihan yakni kemampuan dalam mempertahankan giliran kerja dengan hari libur yang berurutan meskipun hanya terdapat jumlah tenaga kerja yang minimum.

Dengan metode *Monroe* ini akan memaksimalkan jumlah pasangan hari libur yang berturut-turut sehingga akan memberikan waktu istirahat yang cukup bagi tenaga kerja. Penjadwalan dengan algoritma *Monroe* ini memberikan keadilan dalam penentuan libur bagi pekerja, karena setiap tenaga kerja proses produksi akan mendapatkan 2 hari libur yang berturut-turut untuk tiap minggunya. Agar para tenaga kerja mendapatkan waktu istirahat yang cukup dalam menjalankan tugasnya. Penjadwalan tenaga kerja dalam hal pasangan hari libur serta jumlah tenaga yang libur pada setiap shift bergilir pada setiap stasiun kerja dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Jadwal Tenaga Kerja yang Libur pada Setiap Stasiun Kerja

No	Stasiun Kerja	Pasangan Hari Libur (PHL)	Jumlah Tenaga Kerja yang Libur
1	Stasiun Kerja Pencincangan dan Pembersihan	Senin-Selasa	2 orang
		Selasa-Rabu	3 orang
		Rabu-Kamis	3 orang
		Kamis-Jumat	3 orang
		Jumat-Sabtu	3 orang
		Sabtu-Minggu	3 orang
		Minggu-Senin	3 orang
2	Stasiun Kerja Penggilingan dan Pembentukan Lembaran	Senin-Selasa	3 orang
		Selasa-Rabu	4 orang
		Rabu-Kamis	3 orang
		Kamis-Jumat	4 orang
		Jumat-Sabtu	4 orang
		Sabtu-Minggu	4 orang
		Minggu-Senin	4 orang
3	Stasiun Kerja Peremahan dan Pembuktian	Senin-Selasa	1 orang
		Selasa-Rabu	1 orang
		Rabu-Kamis	Tidak ada yang libur
		Kamis-Jumat	1 orang
		Jumat-Sabtu	1 orang
		Sabtu-Minggu	1 orang
		Minggu-Senin	1 orang
4	Stasiun Kerja Pengeringan	Senin-Selasa	1 orang
		Selasa-Rabu	1 orang
		Rabu-Kamis	Tidak ada yang libur
		Kamis-Jumat	1 orang
		Jumat-Sabtu	1 orang
		Sabtu-Minggu	1 orang
		Minggu-Senin	1 orang
5	Stasiun Kerja Pencincangan dan Pembersihan	Senin-Selasa	1 orang
		Selasa-Rabu	1 orang
		Rabu-Kamis	1 orang
		Kamis-Jumat	2 orang
		Jumat-Sabtu	1 orang
		Sabtu-Minggu	2 orang
		Minggu-Senin	1 orang
6	Stasiun Kerja Pengemasan	Senin-Selasa	1 orang
		Selasa-Rabu	1 orang
		Rabu-Kamis	Tidak ada yang libur
		Kamis-Jumat	1 orang
		Jumat-Sabtu	1 orang
		Sabtu-Minggu	1 orang
		Minggu-Senin	1 orang

Setelah dilakukan penjadwalan dengan menggunakan metode *Monroe* terhadap 50 orang tenaga kerja terhadap hari libur dan pasangan hari libur, maka jumlah kebutuhan tenaga kerja yang dibutuhkan pada masing-masing stasiun kerja dapat dilihat pada Tabel 5.

Dari tabel di bawah terlihat bahwa jumlah total kebutuhan tenaga kerja di lantai produksi setelah dijadwalkan dengan Algoritma *Monroe* adalah 73 orang, sementara jumlah tenaga kerja aktual di lantai produksi adalah 82 orang.

Tabel 5. Jumlah Kebutuhan Tenaga Kerja Setelah Dijadwalkan
Dengan Algoritma *Monroe*

No	Stasiun Kerja	Kebutuhan Shift II	Jumlah Tenaga Kerja
1	Pencincangan dan Pembersihan	14	20
2	Penggilingan dan Pembentukan Lembaran	18	26
3	Peremahan dan Pembutiran	4	6
4	Pengeringan	4	6
5	Penimbangan dan Pengepresan	6	9
6	Pengemasan	4	6
Total		50	73

Penjadwalan yang dilakukan di PT. ABC selama ini dinilai kurang tepat, karena mempekerjakan tenaga kerjanya selama 7 hari untuk mencapai target produksi dan melebihi 40 jam bekerja selama seminggu. Sesuai dengan Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia No. 102/MEN/VI/2004 dan Undang-undang Republik Indonesia No. 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan yang mewajibkan setiap pemilik usaha harus mempekerjakan tenaga kerjanya 40 jam bekerja selama seminggu atau 5 hari bekerja dengan 8 jam kerja/hari selama seminggu.

Penjadwalan dengan Algoritma *Monroe* ini sangat tepat diterapkan sebab dengan metode ini tenaga kerja di PT. ABC tetap dapat bekerja untuk memenuhi target produksi tanpa mengganggu hari kerja meskipun masing-masing tenaga kerja mendapatkan hari libur 2 hari berurutan secara bergantian. Dengan kata lain PT. ABC tetap beroperasi selama 7 hari dalam seminggu, namun memberikan hari libur 2 hari kepada tenaga kerja bagian produksi.

Ditinjau dari segi biaya untuk gaji tenaga kerja buruh produksi dapat diminimisasi sebab dengan menggunakan metode Penjadwalan *Monroe* berdasarkan jumlah tenaga kerja optimal, jumlah tenaga kerja dapat diminimisasi dan ini sangat berpengaruh terhadap biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan, diperkirakan sebagai berikut:

Jumlah tenaga kerja produksi = 82 orang
 Gaji buruh produksi/orang = Rp. 2.150.000/bulan
 Gaji yang dikeluarkan/tahun/orang = Rp. 2.150.000/bulan/orang x 12bulan
 = Rp. 25.800.000/orang

Maka gaji yang dikeluarkan perusahaan untuk 82 orang/tahun adalah:
 = Rp. 25.800.000/orang/tahun x 82 orang
 = Rp. 2.115.600.000/tahun

Jika penjadwalan tenaga kerja dengan Algoritma *Monroe* berdasarkan jumlah kebutuhan tenaga kerja optimal diterapkan, maka biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan adalah :

Maka gaji yang dikeluarkan perusahaan untuk 73 orang/tahun adalah :
 = Rp. 25.800.000/orang/tahun x 73 orang
 = Rp. 1.883.400.000/tahun

Sehingga akan terjadi penghematan sebesar:
 = Rp. 2.115.600.000/tahun – Rp. 1.883.400.000/tahun
 = Rp. 232.200.000/tahun

Dengan menerapkan penjadwalan tenaga kerja yang baru maka PT. ABC mampu meminimisasi biaya tenaga kerjanya sebesar Rp. 232.200.000/tahun.

Selain itu keuntungan lain yang akan diperoleh dengan penjadwalan *Monroe* adalah :

1. Penjadwalan ini mampu mempertahankan giliran kerja dengan hari libur yang berurutan meskipun hanya terdapat jumlah tenaga kerja yang minimum di lantai produksi, contohnya untuk stasiun kerja pengeringan, meskipun hanya terdapat 2 orang tenaga kerja/shift tapi penjadwalan tetap dapat dilakukan.
2. Dengan penjadwalan ini target produksi tetap terpenuhi dan pihak manajemen tidak perlu mengeluarkan upah lembur terhadap tenaga kerja produksi sebab tenaga kerja hanya bekerja 5 hari, namun perusahaan tetap beroperasi 7 hari untuk mencapai target produksi.
3. Penjadwalan ini lebih mudah diterapkan dan memberikan kemudahan dalam penyusunan jadwal libur dan hari bekerja secara berurutan selama seminggu sebab hasil dari penjadwalan ini konstan dan dapat dipakai untuk minggu berikutnya.

Penjadwalan tenaga kerja dengan Algoritma *Monroe* ini perlu diterapkan karena tenaga kerja merupakan salah satu aset yang penting bagi perusahaan untuk berjalannya suatu proses produksi, untuk itu kenyamanan tenaga kerja juga perlu diperhatikan. Salah satunya dengan memberikan hari libur, karena usaha dari manusia untuk menjalankan pekerjaan tidak dapat diperkirakan. Penjadwalan *Monroe* ini dapat diaplikasikan ke berbagai industri maupun jasa yang diperkerjakan tenaga kerjanya lebih dari 40 jam bekerja selama seminggu.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan menggunakan teknik pengukuran waktu jam henti (*stop watch time study*), jumlah kebutuhan tenaga kerja pada lantai produksi PT. ABC adalah 50 orang.

Setelah dilakukan penjadwalan dengan algoritma *Monroe* jumlah kebutuhan tenaga kerja optimal adalah sebanyak 73 orang.

Penjadwalan tenaga kerja dengan menggunakan algoritma *Monroe* memberikan hasil setiap tenaga kerja mendapat keadilan dalam pemberian hari libur, yaitu 2 hari libur berurutan setelah 5 hari kerja serta tidak ada tenaga kerja yang bekerja lebih dari 6 hingga 7 hari kerja berurutan.

Dengan menerapkan penjadwalan ini PT. ABC mampu meminimisasi biaya tenaga kerjanya sebesar Rp. 232.200.000/tahun.

Daftar Pustaka

- [1] Bedworth, David and James E. Bailey. *Integrated Production Control System: Management, Analysis and Design*. John Wiley & Sons Inc, New York. 1992.
- [2] Besterfield, Dale. *Quality Control*. Fourth Edition. Prentice Hall Inc. 1994.
- [3] Buffa, Elwood. S., and Rakesh K. Sarin. *Modern Production Operations Management*. John Wiley & Sons Inc. New York. 2005.
- [4] Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia, Nomor. KEP.102/MEN/VI/2004 tentang *Waktu Lembur dan Upah Kerja Lembur*.
- [5] Nurmianto, Eko. *Ergonomi: Konsep Dasar dan Aplikasinya*. Guna Widya. Jakarta. 1998.
- [6] Pulat. B. Mustafa. *Introduction to Industrial Ergonomics*. Englewood Cliffs. John Wiley & Sons. 1993.
- [7] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2003 tentang *Ketenagakerjaan*.

Analisis Tegangan Roda Gigi Miring pada Transmisi Kendaraan Roda Empat berdasarkan AGMA dan ANSYS

Hadi Sutanto

Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Jl. Jendral Sudirman 51, Jakarta 12930
Telp/Fax: 021-5708826/57900974
email: hadi.sutanto@atmajaya.ac.id

Abstract

Two kinds of stresses in the gear teeth are root bending stress and tooth contact stress. These two stresses results in the failure of gear teeth. The root bending stress results in fatigue failure and contact stress results in pitting failure at the contact surface. The stress analysis used to minimize gear failure in the design of helical gear. It is also optimize the design of helical gear on the transmission system of the truck motor vehicle, where the power transmission is required at heavy loads with smoother and noiseless operation. In this paper bending stress and contact stress estimated using analytical method while modeling of gears used the numerical solution. Method of beam strength based on modified Lewis calculation used to predict the bending strength of helical gears. Contact stress was estimated using related method of AGMA contact stress. Stress modeling of helical gears is done by ANSYS 14.5, which is a finite element analysis package. The results are then compared with both AGMA and ANSYS procedures. The values of bending strength and contact stress determined using AGMA method found to be compatible with ANSYS simulation.

Keywords: *helical gears, failure, bending strength, contact stresses, finite element method.*

1. Pendahuluan

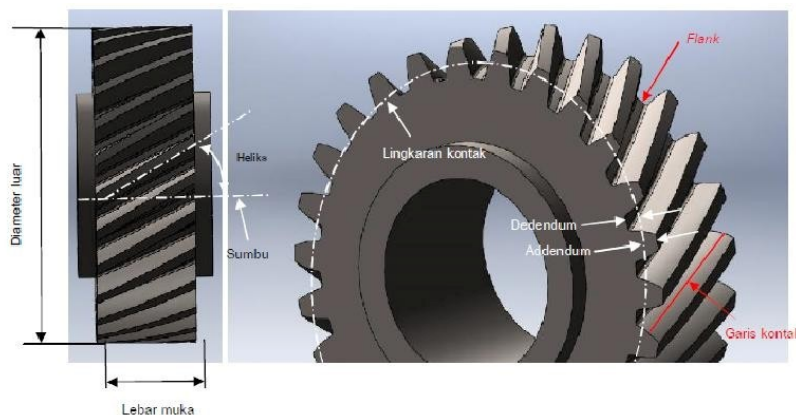
Roda gigi merupakan salah satu elemen mesin yang berfungsi untuk meneruskan daya dan putaran dari satu poros ke poros lainnya. Perkembangan industri yang cepat seperti pada kendaraan, kapal dan pesawat terbang memerlukan penerapan lebih lanjut dari teknologi roda gigi. Secara umum pengguna kendaraan bermotor menyukai mobil yang menggunakan mesin dengan efisiensi tinggi, sehingga diperlukan transmisi daya yang unggul. Industri mobil merupakan salah satu perusahaan manufaktur skala besar yang cukup banyak menggunakan roda gigi.

Roda gigi miring banyak digunakan sebagai roda gigi transmisi daya karena relatif memiliki kerja lebih halus dan kebisingan rendah dengan kapasitas beban besar dan kecepatan kerja lebih tinggi. Roda gigi miring memiliki kerja lebih halus karena sudut miring yang besar sehingga menambah panjang garis kontak roda gigi. Gambar 1 menunjukkan roda gigi miring beserta nomenklatur bagian-bagian dari roda gigi tersebut.

Desain roda gigi miring yang memiliki kekuatan memadai dan tingkat kebisingan rendah pada sistem transmisi daya dengan beban besar memerlukan metode analisis yang tepat, sehingga dapat diterapkan serta memberikan informasi berguna terhadap tegangan lentur dan kontak [1]. Secara praktis desain roda gigi merupakan proses yang kompleks, sehingga analisis numerik menggunakan metode elemen hingga dapat digunakan untuk melakukan sejumlah iterasi berdasarkan sekumpulan data yang tersedia. Data perancangan yang diperlukan pada desain roda gigi hingga saat ini tersedia cukup luas, baik berupa buku-buku teks, jurnal atau prosiding. Dudley [2], Buckingham [3], Tuplin [4] dan Merritt [5] dapat digunakan sebagai rujukan dalam perancangan roda gigi, terutama untuk analisis tegangan pada gigi roda gigi. Perkembangan lebih lanjut pada desain roda gigi dengan penerapan

Diterima 27 Maret 2016; Direvisi 11 Januari 2017; Disetujui 23 Maret 2017

Computer-Aided Design (CAD) dan pemakaian metode numerik berupa metode elemen hingga. Vijayaragan dan Ganesan [6] menuliskan analisis statik pada roda gigi miring dengan menggunakan metode elemen hingga tiga dimensi untuk mengetahui besar tegangan pada gigi roda gigi miring. Hasil yang diperoleh dibandingkan dengan perhitungan yang diperoleh dari persamaan desain roda gigi konvensional. Studi tentang analisis tegangan roda gigi miring dari Chen dan Tsay [7] terhadap tegangan kontak dan lentur menggunakan analisis elemen hingga. Desain roda gigi miring dengan beban besar pada sistem transmisi daya yang memiliki kekuatan sesuai dan tingkat kebisingan rendah disampaikan oleh Moorthy [8]. Sedangkan Sanchez, dan lain-lain [9] menggunakan metode elemen hingga untuk menentukan tegangan kritis dan perhitungan beban lentur pada roda gigi lurus dan miring. Hwanga, dll. [10] juga menggunakan perangkat lunak dari metode elemen hingga untuk melakukan analisis tegangan kontak terhadap sepasang roda gigi.



Gambar 1. Roda gigi miring beserta nomenklatur gigi dari roda gigi

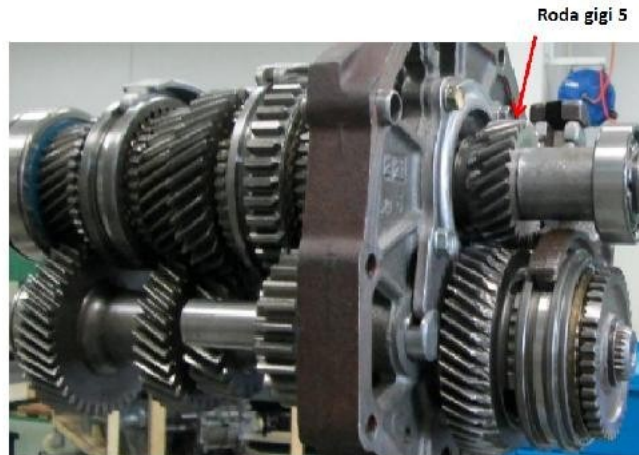
Pada umumnya roda gigi miring memiliki masalah kegagalan pada bagian akar gigi karena kekuatan lentur yang tidak memadai dan terjadinya lubang-lubang halus (pitting) pada permukaan roda gigi. Hal tersebut dapat diminimalkan dengan menggunakan metode desain yang tepat dan modifikasi parameter roda gigi yang berbeda. Tulisan ini akan menyampaikan suatu analisis tegangan terhadap roda gigi miring pada sistem transmisi kendaraan roda empat, baik secara analitik dan numerik. Gambar 2 menunjukkan sistem transmisi kendaraan roda empat dengan roda gigi 5 berupa roda gigi miring yang terbuat dari paduan baja kromium dengan kekuatan tarik tinggi JIS SCr-420. Baja paduan SCr-420 yang diperkeras memiliki kekuatan tarik antara $1000 - 1300 \text{ N/mm}^2$ dan terdiri dari elemen-elemen kimiawi seperti pada Tabel 1 [11].

Tabel 1. Elemen-elemen kimiawi tambahan pada material baja kromium JIS SCr-420

Elemen kimiawi	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
%	0,18-0,23	0,15-0,35	0,6-0,9	<0,030	<0,030	<0,025	0,90-1,2

Pendekatan analitik dan numerik akan digunakan untuk mengembangkan model teoritik roda gigi miring dalam bentuk jaring-jaring (mesh) dan menentukan efek tegangan pada gigi dari roda gigi. Tahapan utama yang akan dilakukan adalah pertama melakukan pemodelan roda gigi dengan perangkat lunak ANSYS 14.5 dan dilanjutkan dengan menentukan efek dari beban lentur pada roda gigi sesuai dengan teori Lewis yang dimodifikasi. Analisis tegangan kontak pada roda gigi menggunakan ANSYS 14.5 dan

kemudian dibandingkan dengan hasil yang diperoleh menurut persamaan tegangan kontak AGMA. Analisis perbandingan tegangan pada gigi roda gigi merupakan bagian dari tahapan perancangan yang banyak dilakukan untuk meminimalkan atau mengurangi kegagalan roda gigi dan juga sebagai optimasi desain roda gigi.



Gambar 2. Transmisi roda gigi pada kendaraan roda empat dengan roda gigi 5 menggunakan roda gigi miring paduan baja kekuatan tinggi JIS S-Cr-430

2. Metode Penelitian

2.1. Perhitungan Kekuatan Roda Gigi Miring

Desain roda gigi pada transmisi daya untuk penggunaan tertentu merupakan fungsi dari beberapa besaran utama roda gigi. Beberapa parameter roda gigi yang penting antara lain, daya yang ditransmisikan, kecepatan roda gigi penggerak dan roda gigi yang digerakkan atau rasio kecepatan serta jarak antara pusat roda gigi. Tabel 1 menunjukkan beberapa besaran dari roda gigi miring yang mendeskripsikan roda gigi miring dan akan digunakan pada perhitungan kekuatan roda gigi.

Tabel 2. Data dimensi roda gigi miring

Besaran	Simbol	Satuan	Nilai
Daya	H	kW	120
Kecepatan	N_p	putaran/menit	3200
Jumlah gigi roda gigi pinyon	N_p	-	26
Jumlah gigi roda gigi penggerak	N_g	-	46
Diameter roda gigi pinyon	D_p	mm	64
Diameter roda gigi penggerak	D_g	mm	109
Modul normal	M	mm	2,25
Sudut tekan	Φ	derajat	30°
Sudut miring	Ψ	derajat	20°
Diameter kontak	D	mm	103,5
Panjang kontak (pitch)	P	mm	58,5
Lebar muka gigi	B	mm	23
Koefisien elastic	ZE	N/mm^2	191

Persamaan AGMA (sesuai dengan AGMA 218.01) untuk menentukan tegangan lentur [2], sebagai berikut,

$$\sigma_b = \frac{W_t K_o K_v K_s K_H K_B}{b m_t Y_j} \quad (1)$$

Dimana

W_t : beban tangensial yang ditransmisikan = H/V (kN)

V : kecepatan garis kontak (*pitch*) = $\pi m_t N_p n_p / 60 \times 10^3$ (m/s)

K_o : faktor kelebihan beban = 1,25

K_v : faktor dinamik = $\left(A + \sqrt{200F/A} \right)^B$

Untuk harga $A = 50 + 56(1 - B)$, sedangkan $B = 0,25(12 - Q_v)^{2/3}$

K_s : faktor ukuran = 1

K_H : faktor distribusi beban = $1 + C_{mc}(C_{pf}C_{pm} + C_{ma}C_e)$ untuk $b = 23$ mm, sedangkan $C_{mc} = 1$ (tanpa mahkota)

P_d : panjang kontak diametral transversal = $Z/D \cos \psi$

d_p : diametral kontak roda gigi pinyon = N_p/P_d (mm), sehingga

$$c_{pf} = F_{10d_p} - 0,025$$

c_{pm} : keterdekatan bantalan = 1

c_{ma} : roda gigi tertutup komersial = 0,14

c_e : faktor koreksi kelurusan = 1

K_B : faktor ketebalan rim = 1

m_t : modul metrik transversal = $m_p / \cos \psi$ (mm)

Y_j : faktor geometrik terhadap kekuatan lentur = 0,48

Hasil perhitungan kekuatan lentur σ_b roda gigi miring sesuai dengan standar AGMA untuk beberapa harga torsi ditunjukkan seperti pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil perhitungan kekuatan lentur σ_b roda gigi miring

Torsi (N/m)	340	375	405	430	455	475	490	515	535	550
Tegangan lentur (N/m ²)	866	964	1068	1129	1205	1278	1339	1404	1457	1516

Persamaan tegangan kontak AGMA ditentukan berdasarkan persamaan ketahanan bintik-bintik (*pitting resistance*) dari tegangan kontak [2], sebagai berikut,

$$\sigma_c = Z_E \sqrt{\frac{W_t K_o K_v K_s K_H Z_R}{d_{wl} b Z_I}} \quad (2)$$

dimana

Z_E : koefisien elastis = $191 \sqrt{N/mm^2}$

Z_R : faktor kondisi permukaan roda gigi = 1

d_{wl} : diameter kontak pinyon = $N_p m_t$ (mm)

Z_I : faktor geometri ketahanan terhadap bintik-bintik (*pitting resistance*) ditentukan dengan cara tersendiri, yaitu pertama-tama menghitung sudut tekan transversal

$$\phi_t = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi_n}{\cos \psi} \right)$$

dimana radius lingkaran dasar pinyon $(r_b)_p$ dan radius lingkaran dasar roda gigi $(r_b)_G$ adalah

$$(r_b)_p = r_p \cos \phi_t \text{ (mm) dan } (r_b)_G = r_G \cos \phi_t \text{ (mm)}$$

$$m_G : \text{rasio kecepatan} = \frac{N_G}{N_P}$$

$$a : \text{addendum} = \frac{1}{P_n}, \text{ sedangkan } P_n = \pi m_n$$

Harga Z ditentukan sebagai berikut:

$$Z = \left[(r_p + a)^2 - r_{bp}^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \left[(r_G + a)^2 - r_{bG}^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (r_p + r_G) \sin \phi_t$$

$$P_N : \text{kontak sirkular normal} = P_n \cos \phi_n$$

$$m_N : \text{rasio pembagian beban} = \frac{P_N}{0,95Z}$$

$$\text{Faktor geometris } Z_I = \frac{\cos \phi_t \sin \phi_t}{2m_N} \frac{m_G}{m_G + 1}$$

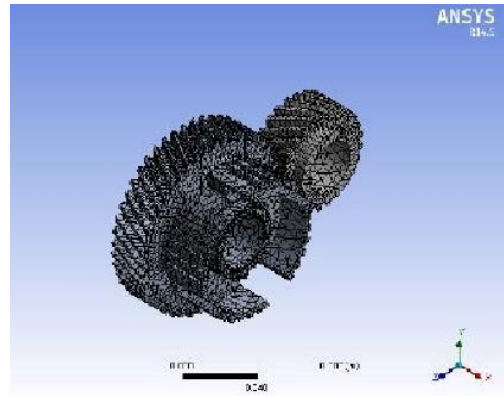
Hasil perhitungan tegangan kontak (*contact stresses*) σ_c roda gigi miring sesuai dengan standar AGMA untuk beberapa harga torsi ditunjukkan seperti pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil perhitungan tegangan kontak σ_c roda gigi miring

Torsi (Nm)	80	150	210	260	305	340	375	405	430	455
Tegangan kontak (Mpa)	835	1140	1350	1510	1643	1754	1850	1932	2000	2067

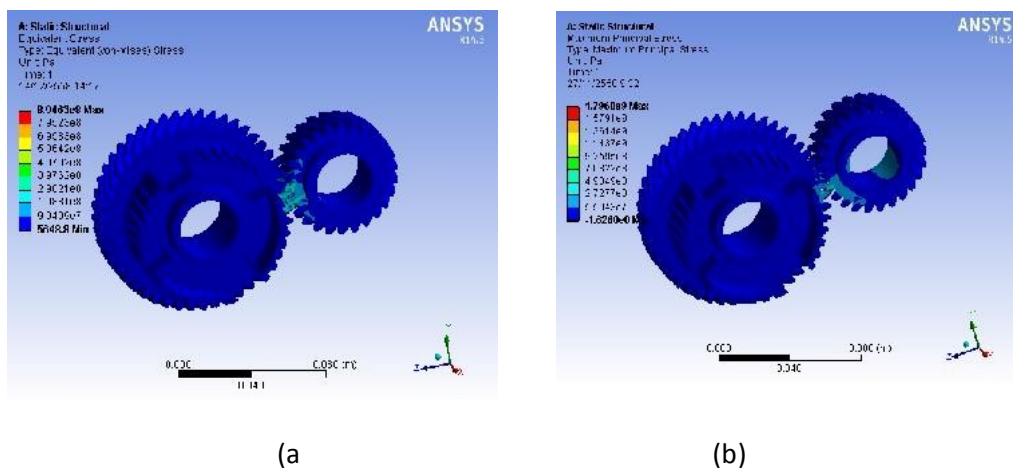
2.2. Pemodelan Roda Gigi Miring

Analisis struktural dari gigi roda gigi miring menggunakan pemodelan berdasarkan metode elemen hingga. Perangkat lunak ANSYS 14.5 digunakan untuk membuat model bentuk roda gigi miring dan dilanjutkan dengan analisis tegangan lentur dan tegangan kontak pada gigi roda gigi [12]. Pemodelan menggunakan beban yang diterapkan pada gigi roda gigi, sedangkan jaring-jaring yang dibangun berupa elemen-elemen berbentuk tetrahedral. Gambar 3 menunjukkan jaring-jaring yang dibangun sesuai dengan model roda gigi miring. Jumlah elemen maksimum adalah 41327, sedangkan jumlah nodal maksimum 72325, sebagai pembatas jaring-jaring elemen. Analisis pembebanan terhadap gigi roda gigi akan menghasilkan distribusi tegangan sesuai dengan bentuk jaring-jaring yang dibuat.



Gambar 3. Model roda gigi miring dengan jaring-jaring (mesh)

Gambar 4 menunjukkan contoh dari distribusi tegangan yang terjadi pada model roda gigi miring dengan besar beban tangensial yang ditransmisikan sebesar $W_t = 10,60$ kN. Distribusi tegangan lentur pada model elemen hingga ANSYS 14.5 ditentukan berdasarkan tegangan von Mises seperti pada Gambar 4 (a). Sedangkan Gambar 4 (b) menunjukkan distribusi tegangan kontak sesuai dengan tegangan utama maksimum dari ANSYS 14.5.



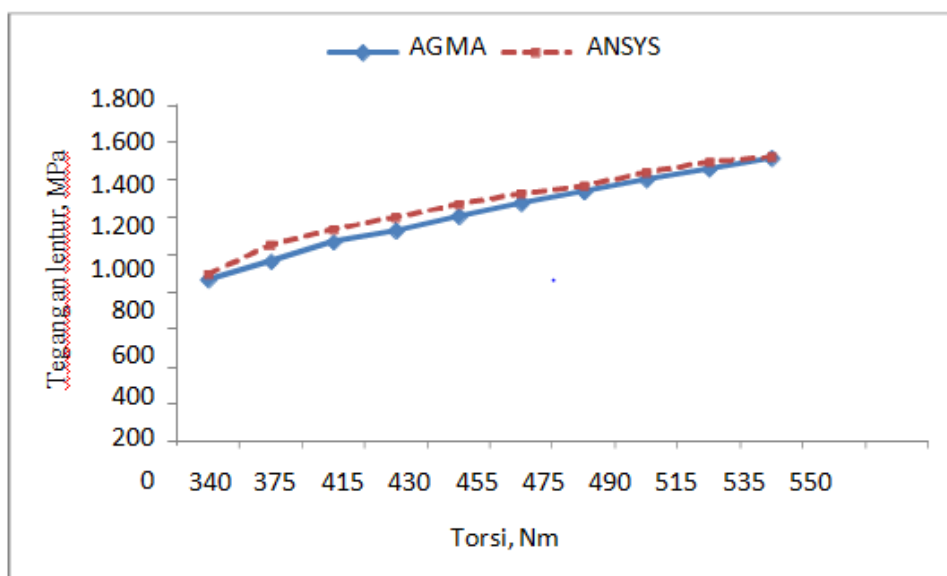
Gambar 4. Distribusi tegangan pada model roda gigi miring dengan $W_t = 10,60$ kN (a) tegangan lentur sesuai dengan tegangan σ_{on} Mises; (b) tegangan kontak sesuai dengan tegangan utama maksimum.

3. Hasil dan Pembahasan

Perhitungan beban tangensial yang ditransmisikan sesuai dengan torsi yang digunakan pada kendaraan roda empat akan menentukan besar tegangan lentur, sesuai dengan AGMA dan ANSYS. Demikian pula halnya dengan penentuan besar tegangan kontak pada gigi roda gigi miring yang diperoleh secara analitik sesuai AGMA dan numerik dengan ANSYS 14.5. Tabel 5 menunjukkan perbandingan harga tegangan lentur dari roda gigi miring sesuai dengan AGMA dan ANSYS untuk beberapa harga torsi dan beban tangensial yang ditransmisikan oleh roda gigi tersebut. Sedangkan perbandingan tegangan kontak pada gigi roda gigi ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 5. Perbandingan harga tegangan lentur sesuai AGMA dan ANSYS 14.5

No.	Torsi (N.m)	Beban tangensial ditransmisikan W_t (kN)	Tegangan lentur σ_b sesuai AGMA (MPa)	Tegangan Von Mises σ_b sesuai ANSYS (Mpa)
1	340	10.60	866	895
2	375	11.64	964	1048
3	415	12.56	1068	1132
4	430	13.38	1129	1202
5	455	14.12	1205	1272
6	475	14.80	1278	1328
7	490	15.41	1339	1370
8	515	15.97	1404	1440
9	535	16.48	1457	1495
10	550	16.96	1516	1524

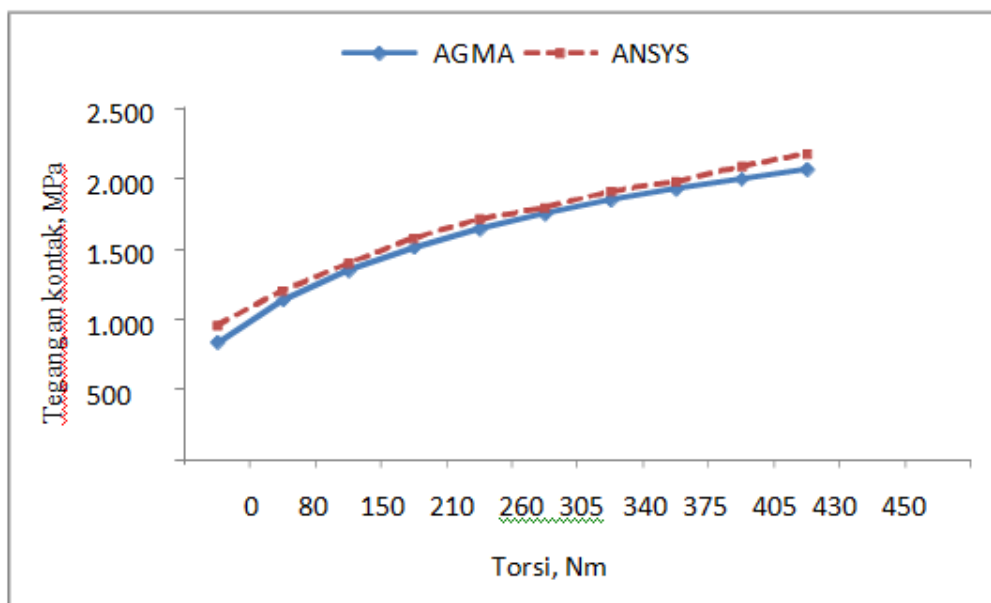
**Gambar 5.** Grafik tegangan lentur sesuai dengan AGMA dan ANSYS

Tegangan lentur dan tegangan kontak yang diperoleh berdasarkan perhitungan analitik sesuai AGMA dan pemodelan numerik sesuai ANSYS dapat dilihat seperti Gambar 5 dan 6. Hubungan antara tegangan dan torsi dari roda gigi miring menunjukkan kecenderungan yang mirip antara hasil perhitungan AGMA dan pemodelan ANSYS. Harga torsi yang semakin besar akan menambah besar tegangan lentur dan tegangan kontak. Tegangan berawal dari tegangan kontak pada gigi roda gigi, sedangkan tegangan lentur akan diperluas ke sumbu pusat roda gigi sehingga timbul fraktur akhir ketika torsi lebih besar dibandingkan dengan kekuatan tarik material roda gigi. Dengan material roda gigi miring berupa paduan baja kromium SCr-420 yang memiliki kekuatan tarik 1300 MPa, maka

jika torsi yang digunakan pada kendaraan roda empat menghasilkan tegangan lebih besar dari 1300 MPa kemungkinan dapat terjadi kegagalan dari roda gigi tersebut.

Tabel 6. Perbandingan harga tegangan kontak sesuai AGMA dan ANSYS 14.5

No.	Torsi (N.m)	Beban tangensial ditransmisikan W_t (kN)	Tegangan kontak σ_c sesuai AGMA (MPa)	Tegangan utama σ_c sesuai ANSYS (MPa)
1	80	2.56	835	956
2	150	4.71	1140	1198
3	210	6.52	1350	1396
4	260	8.07	1510	1578
5	305	9.42	1643	1718
6	340	10.60	1754	1797
7	375	11.64	1850	1908
8	405	12.56	1932	1978
9	430	13.38	2000	2089
10	450	14.12	2067	2179



Gambar 6. Grafik tegangan kontak sesuai dengan AGMA dan ANSYS

4. Kesimpulan

Analisis roda gigi miring berdasarkan metode analitik dan numerik digunakan untuk memprediksi besar tegangan lentur dan tegangan kontak pada gigi roda gigi miring dari sistem transmisi kendaraan roda empat. Tegangan lentur dihitung menggunakan metode AGMA, sesuai dengan persamaan kekuatan batang Lewis yang dimodifikasi dan pemodelan dengan metode elemen hingga ANSYS 14.5. Sedangkan tegangan kontak diperoleh berdasarkan persamaan tegangan kontak AGMA dan model roda gigi sesuai dengan ANSYS 14.5.

Hasil yang diperoleh baik secara analitik atau numerik untuk masing-masing besar tegangan kemudian dibandingkan, seperti ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6. Kedua gambar menunjukkan bahwa besar tegangan hasil perhitungan analitik dan numerik memiliki bentuk yang cenderung sama dan deviasi atau perbedaan yang kecil. Dari kedua gambar dapat ditunjukkan pula bahwa semakin besar torsi yang digunakan maka semakin besar pula tegangan lentur dan tegangan kontak yang dihasilkan pada gigi roda gigi. Tegangan yang terjadi dapat melebihi kekuatan tarik material roda gigi baja paduan kromium JIS SCr-420, yaitu 1300 MPa. Hal tersebut dapat diprediksi terhadap kemungkinan terjadinya kegagalan pada roda gigi miring tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] Norton, R.L. *Machine Design: An Integrated Approach*. Prentice Hall, Inc., New Jersey. 1996.
- [2] Dudley, D.W. *Gear Handbook*. 2nd edition, McGraw-Hill, Inc., NY. 1992.
- [3] Buckingham, E. *Spur Gears*. McGraw-Hill, Inc., NY. 1962.
- [4] Tuplin, W.A. *Gear Design*. The Machinery Publishing Co., 1962.
- [5] Merritt, H.E. *Gears*. Pitman Publishing Co., 1964.
- [6] Vijayarangan, S. and Ganesan, N. *A static analysis of composite helical gears using three-dimensional finite element method*. Computers and Structures. 1993; 49; 253-268.
- [7] Yi-Cheng Chen and Chung-Biau Tsay. *Stress analysis of a helical gear set with localized bearing contact. Finite Element in Analysis and Design*. 2002. 38. 707-723.
- [8] Moorthy, V. and Shaw, B.A. *Contact fatigue performance of helical gears with surface coatings*. Wear. 2012. 276-277. 130-140.
- [9] Miryam B. Sanchez, Jose I. Prdrero and Miguel Pleguezuelos. *Critical stress and load conditions for bending calculations of involute spur and helical gears*. International Journal of Fatigue. 2013. 48. 28-38.
- [10] Seok-Chul Hwanga, Jin-hwan Lee, Dong-Hyung Lee, Seoang-Ho Hana and Kwon-Hee Lee. *Contact stress analysis for a pair of mating gears*. Mathematical and Computer Modeling. 2013. 57. 40-49.
- [11] *Saarstahl Material Specification Sheet* (<http://www.saarstahl.com>).
- [12] Kent L. Lawrence. *ANSYS WorkBench*. Tutorial Release 14. SDC Publications. 2013.

Pengaruh *Hard Chrome Plating* pada Peningkatan Kekerasan Baja Komponen Kincir

Budi Setyahandana¹, Yohanes Eko Christianto²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma
Jl. Affandi, Mrican, Depok, Sleman, Yogyakarta, Indonesia (+62)-274-513301

¹Email: budisetya@usd.ac.id

Abstract

High carbon steel generally has a high hardness but lower ductility. To obtain a hard and ductile material, surface hardening can be done on a low carbon steel. Surface hardening can be achieved by hard chrome plating. The objectives of this research were: (1) Conducting the process of hard chrome plating on low carbon steel, (2) Knowing the increasing of surface hardness of low-carbon steel after the plating process in time variations, (3) Knowing the increasing of surface hardness of the low carbon steel after the coating process in anode-cathode distance variations. The specimens was made of low carbon steel. The size of the specimen were 40 mm in length, 35 mm in width and 6.8 mm in thickness. The variables measured were: (1) Coating time (t), (2) The distance between the cathode and anode in the coating process (l). After the coating process completed, the specimen surface hardness was measured by Vickers Hardness Tester. The results showed that up to 532 HV, low carbon steel hardness increased linearly at increasing time plating. At 120 minutes plating, the hardness also increased linearly at current densities up to 1.05 amperes/dm². While at the current density of 1.1 amperes/dm², the hardness increased significantly higher.

Keywords: surface hardening, hard chrome plating, anode-cathode distance

1. Pendahuluan

Wilayah Indonesia yang cukup luas memiliki potensi sumber daya alam yang sangat besar. Salah satu potensi yang dimiliki adalah energi angin. Meski demikian, energi ini belum digarap secara maksimal. Energi angin dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk keperluan orang banyak. Salah satu kegunaannya adalah menghasilkan energi listrik dengan menggunakan kincir angin sebagai penghasil daya.

Kincir angin banyak ditempatkan di daerah pantai. Di daerah ini kecepatan angin cukup tinggi. Di sisi lain, jika kincir angin dibuat dari bahan yang mengandung *ferro* atau besi, akan mudah berkarat karena terkena uap air laut yang mengandung garam yang terbawa oleh angin. Komponen yang terbuat dari besi/baja tersebut memang kita perlukan karena beberapa bagian kincir memerlukan kekerasan yang tinggi. Secara perlahan korosi akan membuat rapuh bagian-bagian kincir angin dan mengakibatkan terhambatnya fungsi kincir angin. Melihat kondisi tersebut, diperlukan perancangan dan komponen kincir angin yang memiliki ketahanan yang lebih baik, utamanya dari kekerasan dan ketahanan korosi.

Untuk meningkatkan kekerasan permukaan komponen, salah satu caranya dengan metode *hard chrome plating*. Proses ini dapat meningkatkan kekerasan pada permukaan bahan, tahan terhadap serangan korosi, penampilan yang lebih menarik, dan lebih tahan terhadap gesekan (keausan).

Tujuan penelitian ini adalah :

- Melakukan *hard chrome plating* pada baja karbon rendah.
- Mengetahui efek variasi waktu terhadap peningkatan kekerasan lapisan pada permukaan lapisan baja karbon rendah.

- c. Mengetahui efek variasi jarak terhadap peningkatan kekerasan lapisan pada permukaan baja karbon rendah.

Manfaat dari hasil penelitian ini adalah :

- a. Meningkatnya kekerasan permukaan baja karbon rendah untuk pengembangan kincir angin.
- b. Bertambahnya khasanah ilmu pengetahuan untuk civitas akademika dan masyarakat luas.
- c. Bertambahnya referensi/pustaka tentang *hard chrome plating* bagi para peneliti lain.

Elektroplating

Elektroplating merupakan salah satu proses pelapisan logam terhadap benda padat dengan menggunakan bantuan arus listrik melalui media larutan elektrolit. Benda yang dilapisi harus konduktor atau dapat menghantarkan arus listrik. Elektroplating dapat digunakan untuk perlindungan terhadap karat seperti pada pelapisan seng pada besi baja. Pelapisan nikel dan krom umumnya ditujukan untuk menjadikan benda mempunyai permukaan lebih keras dan mengkilap selain juga sebagai perlindungan terhadap korosi.

Pada proses elektroplating terjadi perpindahan ion logam dengan bantuan arus listrik melalui larutan elektrolit sehingga ion logam mengendap pada benda padat konduktif membentuk lapisan logam. Ion logam diperoleh dari elektrolit maupun berasal dari pelarutan anoda logam ke dalam elektrolit. Pengendapan terjadi pada benda kerja yang berlaku sebagai katoda. Lapisan logam yang mengendap disebut juga sebagai deposit.

Proses Pelapisan Elektroplating

Sumber arus listrik searah dihubungkan dengan dua buah elektroda yaitu elektroda yang dihubungkan dengan kutub negatif disebut sebagai katoda dan elektroda positif disebut anoda. Arus listrik mengalir dari anoda menuju katoda melalui elektrolit. Benda yang akan dilapisi harus memiliki sifat konduktif atau dapat menghantarkan arus listrik yang berfungsi sebagai katoda, disebut benda kerja. Semua rangkaian tersebut disusun membentuk suatu sistem. Anoda dihubungkan dengan kutub positif dan katoda dengan kutub negatif. Keduanya dimasukkan ke dalam larutan elektrolit dan diberikan arus listrik, sehingga terjadi proses pelapisan pada katoda. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam elektroplating adalah:

1. Sumber arus searah

Sumber arus listrik yang digunakan pada proses pelapisan adalah arus searah (DC) yang didapatkan dari *rectifier*. Tegangan yang dihasilkan berkisar 6-12 Volt. Keunggulan dari *rectifier* adalah arus yang dihasilkan arus searah (DC), tegangan rendah dan menghasilkan arus yang stabil.

2. Larutan elektrolit

Penggunaan larutan elektrolit pada proses elektroplating mempunyai komposisi larutan yang berbeda-beda tergantung jenis pelapisan.

3. Anoda

Anoda merupakan terminal positif dalam larutan elektrolit dan terbagi dalam dua golongan, yaitu:

1. Anoda larut (*soluble anode*)

Anoda yang larut berfungsi untuk penghantar arus listrik dan juga sebagai bahan baku pelapisan. Contohnya anoda nikel dan anoda seng.

2. Anoda tak larut (*unsoluble anode*)

Anoda yang tidak larut berfungsi sebagai penghantar arus listrik saja. Contohnya anoda Pb pada proses pelapisan kromium.

4. Katoda

Pada proses elektroplating, katoda bisa diartikan sebagai benda kerja yang akan dilapisi.

Pelapisan krom dibedakan menjadi 2 macam yaitu :**1. Krom dekoratif**

Pada pelapisan krom dekoratif (*Decoratif Chrome Plating*), benda yang akan dilapisi terlebih dahulu dilapisi oleh tembaga dan nikel, sedangkan untuk pengerjaan akhir dilapisi dengan krom tipis. Tebal lapisan berkisar 0,25-0,5 mikron. Lapisan ini menghasilkan penampilan yang cemerlang dan berkilau. Lapisan krom dekoratif tahan terhadap abrasi dan banyak digunakan untuk pelapisan perabot rumah tangga, *spare part* kendaraan bermotor, alat-alat medis, dan lain-lain.

2. Krom keras

Pelapisan krom keras (*Hard Chrome Plating*) untuk mendapatkan hasil material yang tahan panas, tahan gores, dan tahan korosi. Pelapisan krom keras dilakukan dengan langsung melapisi benda dengan krom tanpa ada pelapisan perantara. Lapisan pada krom keras lebih tebal daripada krom dekoratif dengan ketebalan berkisar 0,1-0,3 mm. Manfaat yang didapat dari krom keras antara logam tersebut:

- a. Lebih tahan terhadap karat
- b. Dihasilkan lapisan yang lebih keras menjadikan tahan terhadap gesekan
- c. Permukaan logam juga lebih licin
- d. Material terlindungi terhadap karat, gesekan, suhu, dan goresan

Kondisi yang perlu diperhatikan pada saat proses elektroplating:

1. Karat dan minyak yang melekat pada spesimen menyebabkan hasil pelapisan kurang baik.
2. Uap larutan elektrolit dan minyak yang melekat pada batang tembaga untuk menggantung kawat tembaga sebagai pengantar arus listrik dari *rectifier* terhambat menjadikan hasil pelapisan kurang baik.
3. Klem kabel dari *rectifier* dipasang dengan baik dan kencang agar proses pengaliran arus listrik dapat bekerja dengan baik.
4. Kotoran, debu, dan minyak yang bercampur pada larutan elektrolit menyebabkan hasil pelapisan kurang baik.
5. Arus listrik yang terputus-putus menuju katoda menyebabkan hasil pelapisan kurang baik.

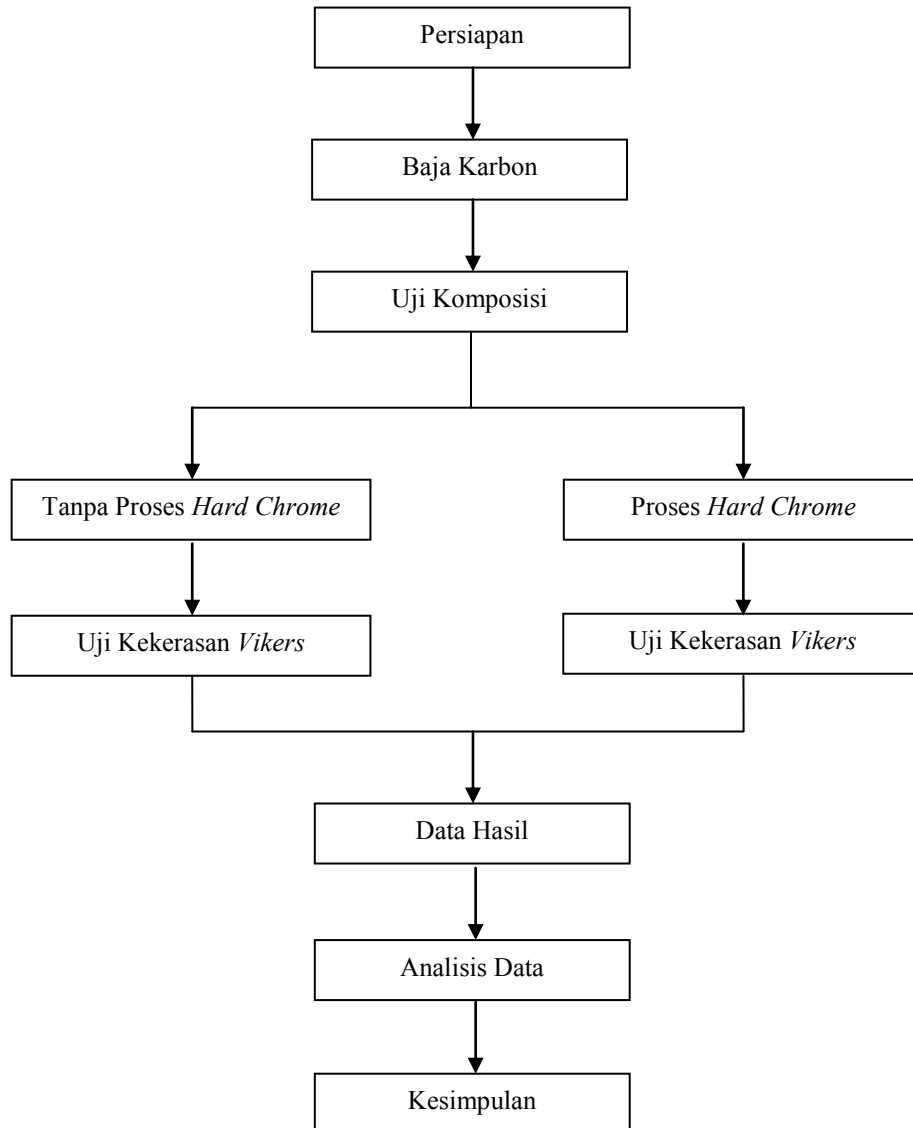
Tinjauan Pustaka

Pelapisan krom keras mempunyai ketebalan yang dapat mencapai 150 μm dengan kekerasan lebih dari 600 HV, yang umumnya diaplikasikan untuk alat-alat industri yang bergerak dan memerlukan ketahanan goresan dan abrasi yang tinggi (Purwanto, 2005). Proses pengerasan permukaan pada baja karbon banyak digunakan pada bidang industri khususnya digunakan pada komponen kendaraan bermotor yang membutuhkan pengerasan permukaan adalah *shock absorber*. Pada dasarnya proses pengerasan pada baja karbon ada yang bersifat untuk mengeraskan permukaannya saja tanpa mengubah struktur atau komponen-komponen yang ada pada logam induknya. Proses ini diantaranya adalah proses pelapisan logam. Dewasa ini metode pengerasan permukaan dengan menggunakan pelapisan listrik banyak digunakan, karena proses tidak terlalu rumit dan juga banyak keuntungannya. Proses pelapisan logam dengan bantuan listrik ini bertujuan untuk melindungi bahan yang dilapisi dengan memperbaiki mutu dari sifat permukaannya benda kerja/spesimen dengan melapiskan logam lain pada logam yang dimaksud sebagai benda kerjanya. Logam yang digunakan untuk melapisi harus mempunyai sifat yang lebih baik dari pada logam yang terlapisi (Sandi, 2002). Menurut Adhi (2011), material yang dikerjakan dengan permesinan menghasilkan lapisan *hard chrome* yang bagus. Sumber arus listrik menggunakan *rectifier* menghasilkan lapisan yang baik karena arus listrik lebih stabil. Jika menggunakan arus listrik menggunakan aki, arus listrik yang

dihasilkan tidak stabil karena arus listrik cenderung menurun selama proses pelapisan. Jarak antar anoda dan katoda 10 cm akan membuat proses elektroplating jauh lebih cepat.

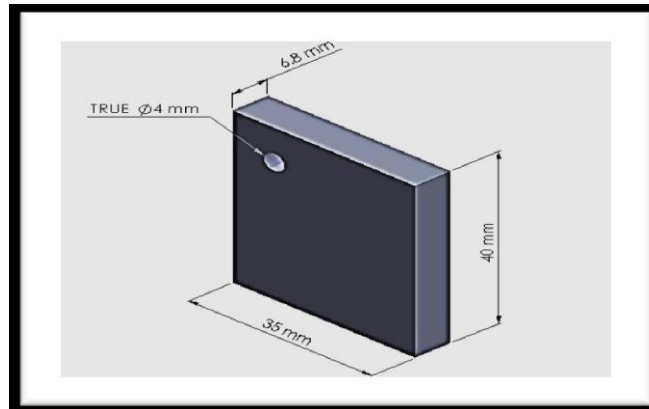
2. Metode Penelitian

Langkah kerja penelitian disajikan dalam bentuk diagram alir penelitian pada Gambar 1.



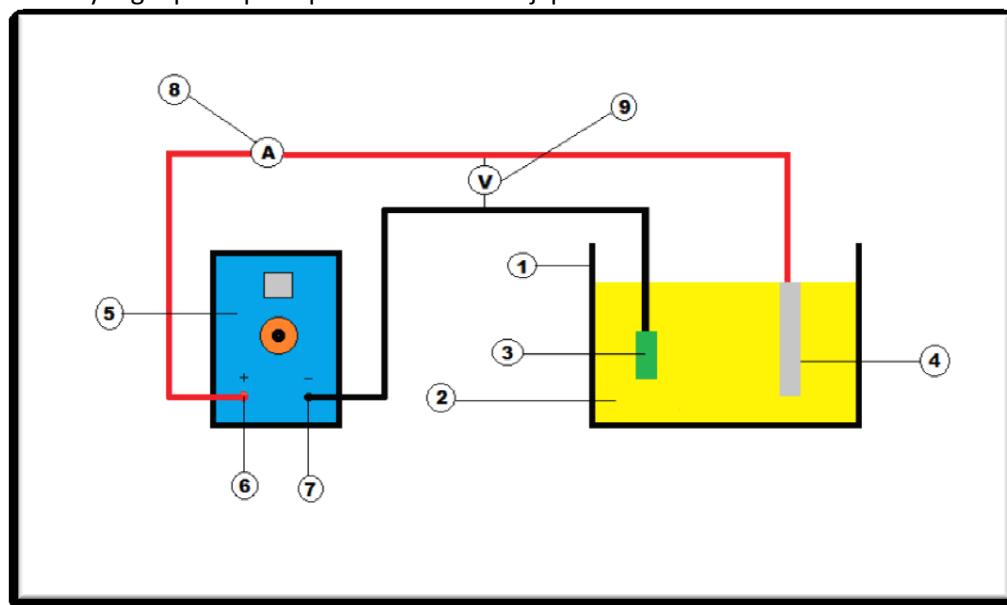
Gambar 1. Diagram alir penelitian

Spesimen dibuat dengan ukuran panjang 40 mm, lebar 35 mm, dan tebal 6,8 mm. Bentuk spesimen tersaji pada Gambar 2.



Gambar 2. Bentuk dan ukuran specimen

Skema alat yang dipakai pada penelitian ini tersaji pada Gambar 3



Gambar 3. Skema alat

Keterangan:

1. Bak larutan elektrolit
2. Larutan Elektrolit
3. Katoda (Spesimen)
4. Anoda (Batang Krom)
5. *Rectifier*
6. Terminal positif *rectifier*
7. Terminal negatif *rectifier*
8. Ampere meter
9. Volt meter

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Bak larutan elektrolit: sebagai tempat atau wadah larutan elektrolit.
2. *Rectifier*: sebagai sumber arus listrik DC.
3. Kawat tembaga: digunakan untuk mengaitkan benda kerja dengan pipa tembaga.
4. Anoda: sebagai terminal positif dalam larutan elektrolit.
5. Pipa tembaga: sebagai tempat untuk mengaitkan kawat tembaga (penggantung) sekaligus sebagai perantara arus dari *rectifier*.

6. Katoda/benda kerja/specimen: sebagai terminal negatif dalam larutan elektrolit (benda kerja yang akan dilapisi).
7. Rak: digunakan untuk menempatkan pipa tembaga di atas bak plastik.
8. Ampere meter: digunakan untuk mengukur kuat arus yang mengalir selama proses *elektroplating*.
9. Outside micrometer: sebagai alat untuk mengukur ketebalan benda kerja sebelum dan setelah dilapisi.
10. *Vernier caliper*: sebagai alat untuk mengukur dimensi dari benda kerja.
11. Penggaris mika: digunakan untuk mengatur jarak antara anoda dan katoda.
12. *Metal polish*: digunakan untuk menghaluskan permukaan benda kerja saat proses *polishing*.
13. Mesin polish: digunakan untuk memoles benda kerja dengan kehalusan tertentu.
14. *Heater*: digunakan untuk memanaskan air sabun.
15. Mesin uji kekerasan: digunakan untuk menguji kekerasan hasil elektroplating.

Larutan elektrolit yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas bahan-bahan kimia yaitu:

1. Asam Kromat (*Chrome Acid*)

Asam kromat merupakan satu-satunya sumber ion krom yang akan melapisi benda kerja. Karena anoda yang digunakan tidak larut, maka konsentrasi ion krom lama kelamaan akan berkurang. Hal ini perlu diantisipasi dengan penambahan asam kromat untuk menjaga kadar krom dalam larutan. Takaran asam kromat yang digunakan untuk membuat larutan elektrolit sebesar 150 gr/l.

2. Asam Sulfat

Asam sulfat adalah salah satu katalis yang berperan untuk mempercepat terjadinya reaksi pengendapan ion logam. Takaran asam sulfat yang digunakan untuk membuat larutan elektrolit sebesar 0,87gr/l.

3. Aquades

Aquades adalah cairan pelarut untuk pembuatan larutan elektrolit. Air destilasi digunakan sebagai pelarut karena tidak mengandung mineral yang dapat mengganggu proses elektroplating.

4. Katalis

Katalis memiliki peran sebagai pengendap ion *chrome*. Takaran katalis yang digunakan untuk pembuatan larutan elektrolit sebesar 15 ml/l.

Proses pembuatan larutan elektrolit dilakukan dengan mencampur bahan-bahan di atas dengan komposisi seperti tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi larutan *Hard Chrome*

Komponen dan kondisi operasi	
Asam Kromat	150 gr/l
Asam Sulfat	0,87 gr/l
Katalis	15 ml/l
Temperatur	46-57 °C
Rapat Arus	33 A/dm ²

Sumber: Syamsul Huda, Purwanto (2005)

Variabel yang tetap adalah penggunaan tegangan listrik DC 12 volt. Sedangkan variabel yang divariasikan:

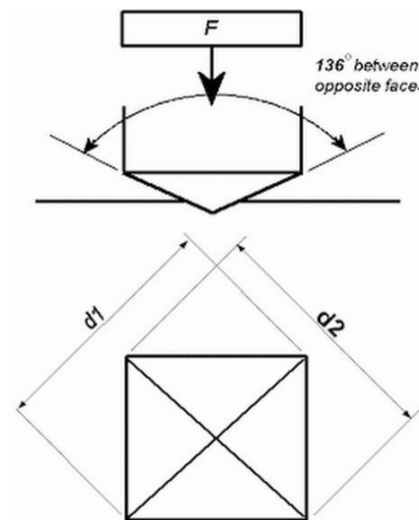
1. Jarak 150 mm dengan variasi waktu 150 menit, 180 menit, 210 menit, dan 240 menit
2. Waktu 120 menit dengan variasi jarak 80 mm, 120 mm, 160 mm, dan 200 mm

Variabel yang diukur pada penelitian ini :

1. Kuat arus pada proses plating (ampere)
2. Kekerasan pada hasil plating (HV)

Pengujian Kekerasan

Dalam penelitian ini pengujian kekerasan yang dilakukan adalah pengujian *Vickers*. Pengujian dengan metode *Vickers* bertujuan untuk mengetahui kekerasan permukaan material dengan cara penekanan menggunakan indenter intan yang cukup kecil yang mempunyai bentuk geometri piramida dengan sudut puncak 136° . Angka kekerasan *Vickers* (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dibagi luas permukaan bekas penekanan dengan lama waktu penekanan 15 detik.



Gambar 4. Bentuk dan sudut indenter Vickers

Untuk menghitung angka kekerasan permukaan material baja dengan metode *Vickers* dapat digunakan persamaan (1), (2) dan (3).

$$im = 2 \sin \frac{\alpha}{2} \quad (1)$$

$$S = \frac{d^2}{im} \quad (2)$$

$$HV = \frac{0,102 \times F}{S} \quad (3)$$

dengan:

im = *impression surface*

α = sudut ujung indenter

S = luas permukaan bekas injakan indenter

HV = angka kekerasan *Vickers*

F = beban penekanan (kg)

d^2 = diagonal rata-rata (mm^2)

3. Hasil dan Pembahasan

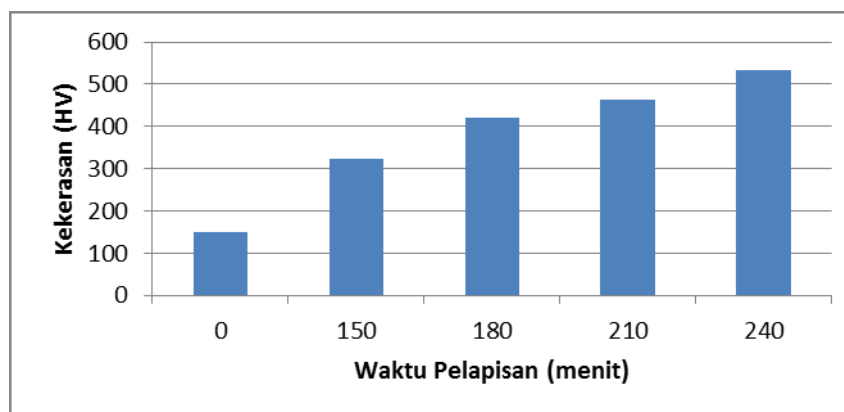
Variasi yang digunakan dalam penelitian “Karakteristik Pelapisan Krom Keras Baja Karbon Rendah” ini adalah waktu pelapisan (150 menit, 180 menit, 210 menit, dan 240 menit) dan jarak katoda-anoda (80 mm, 120 mm, 160 mm, dan 200 mm). Hasil dari pelapisan tiap variasi kemudian diuji kekerasan dengan diberi tiga kali penekanan. Diperoleh tiga data diagonal hasil penekanan yang kemudian dicari reratanya. Hasil rerata ini dihitung dengan menggunakan rumus *Vickers*.

Untuk mengetahui seberapa peningkatan kekerasannya, sebelumnya dilakukan pengujian kekerasan pada base material. Dari pengukuran dan perhitungan, diperoleh harga kekerasan base material sebesar 151 HV. Selanjutnya, hasil pengujian kekerasan dengan variasi waktu dan jarak tersaji pada Tabel 2 dan Tabel 3. Tabel 2 menunjukkan hasil kekerasan pada variasi tegangan 12 volt dengan jarak anoda-katoda 150 mm.

Tabel 2. Nilai kekerasan dengan variasi waktu pelapisan (12 volt, 150 mm)

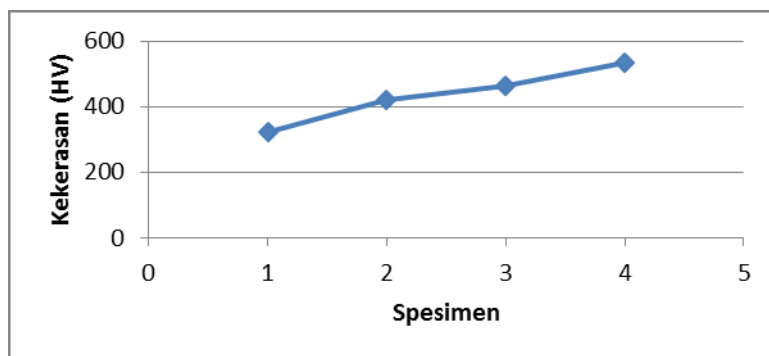
No.	Waktu (menit)	Tegangan (volt)	Jarak (mm)	Kuat arus (ampere)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	Kekerasan (HV)
1.	150	12	150	10,5	0,024 0,024 0,024	0,024 0,024	322
2.	180	12	150	10,5	0,022 0,022 0,021	0,020 0,022 0,021	420
3.	210	12	150	11	0,0195 0,0195 0,0205	0,020 0,020 0,0205	463
4.	240	12	150	10	0,018 0,018 0,019	0,018 0,019 0,019	532

Dari Tabel 2 kita memperoleh gambaran tentang kekerasan seperti tersaji pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik kekerasan spesimen sebelum dan sesudah pelapisan pada 12 volt, jarak anoda-katoda 150 mm

Secara visual, nampak bahwa semakin lama waktu pelapisan maka kekerasannya semakin tinggi. Hal seperti ini dimungkinkan terjadi pada daerah yang nilai kekerasannya belum mencapai titik jenuh. Bila diperhatikan lebih detil, sebenarnya ada variabel tetap yang tidak terjaga dengan baik, yaitu rapat arus. Dengan luas penampang 14 dm^2 , secara berturut-turut data rapat arus menunjukkan 0,75; 0,75; 0,79; dan 0,71 ampere/ dm^2 . Secara lebih detil, kita dapat memperhatikan kekerasan spesimen 3 dan spesimen 4 dalam Gambar 6. Spesimen 1 dilapisi selama 150 menit, spesimen 2 dilapisi selama 180 menit, spesimen 3 dilapisi selama 210 menit, dan spesimen 4 dilapisi selama 240 menit.



Gambar 6. Kekerasan spesimen uji setelah pelapisan

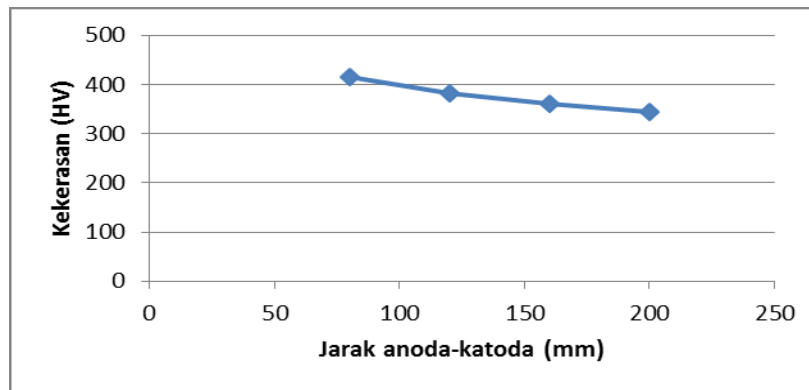
Dari Gambar 6, nampak terjadi ketidaklinearan hasil di spesimen 3. Kekerasan yang terjadi di spesimen 3 lebih rendah dari yang semestinya jika kita menarik garis linear dari titik 1 dan 2. Hal ini dapat disebabkan oleh kondisi konsentrasi asam kromat yang mulai berkurang pada pengujian di spesimen 3, sehingga menyebabkan jumlah partikel krom yang terdeposisi pada anoda menjadi kurang dibanding pada pengujian di spesimen sebelumnya. Dari Gambar 5 dan Gambar 6, secara umum dapat dikatakan bahwa peningkatan kekerasan akibat pelapisan krom keras masih terlihat naik linear sampai di bawah kekerasan 550 HV.

Tabel 3 menunjukkan nilai kekerasan baja karbon rendah yang telah mengalami proses pelapisan dengan variasi jarak. Tegangan yang digunakan dalam proses pelapisan ini adalah 12 volt dan lama waktu proses pelapisan 120 menit. Variasi jarak antara anoda dan katoda yang digunakan adalah 80 mm, 120 mm, 160 mm, dan 200 mm.

Tabel 3. Nilai kekerasan dengan variasi jarak anoda-katoda

No.	Jarak (mm)	Tegangan (volt)	Waktu (menit)	Kuat arus (ampere)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	Kekerasan (HV)
1.	80	12	120	15,4	0,021	0,021	414
					0,0215	0,0215	
					0,021	0,021	
2.	120	12	120	14,7	0,022	0,022	383
					0,022	0,022	
					0,022	0,022	
3.	160	12	120	11,16	0,0225	0,0225	361
					0,0225	0,0225	
					0,023	0,023	
4.	200	12	120	9,78	0,023	0,023	343
					0,0235	0,0235	
					0,0235	0,023	

Dari Tabel 3 kita dapat membuat grafik yang menyatakan hubungan jarak antara anoda-katoda dan kekerasan seperti disajikan dalam Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan jarak anoda-katoda dan kekerasan (pada pelapisan selama 120 menit)

Dari Gambar 7 nampak bahwa seiring jauhnya jarak anoda-katoda, kekerasan yang terjadi semakin menurun dengan kurva yang cenderung mendekati datar (stabil). Hal ini dapat dipahami makin jauh jarak anoda-katoda, arus yang mengalir juga semakin kecil, sehingga partikel krom yang terdeposisi pada spesimen makin sedikit. Dengan memberi perhatian pada rapat arus, data pada Tabel 3 ditampilkan kembali pada Tabel 4 setelah melewati perhitungan dengan pembagian oleh luas penampang 14 dm^2 .

Tabel 4. Nilai kekerasan dengan variasi kuat arus

No.	Jarak (mm)	Luas Penampang (dm^2)	Kuat arus (ampere)	Rapat arus (ampere/ dm^2)	Kekerasan (HV)
1.	80	14	15,4	1,1	414
2.	120	14	14,7	1,05	383
3.	160	14	11,16	0,8	361
4.	200	14	9,78	0,7	343

4. Kesimpulan

Dari serangkaian pengujian dan perhitungan yang dilaksanakan pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa sampai dengan kekerasan 532 HV, peningkatan kekerasan akibat pelapisan krom keras (*hard chrome plating*) naik linear sebanding dengan waktu pelapisan. Peningkatan kekerasan naik linear untuk penggunaan rapat arus dari 0,7 - 1,05 ampere/ dm^2 . Terjadi peningkatan kekerasan yang cukup signifikan pada rapat arus 1,1 ampere/ dm^2 .

Daftar Pustaka

- [1] Adhi HS. *Peningkatan Ketahanan Aus Baja Karbon Rendah 0,07225 C dengan Metode Pelapisan Hard Chrome*. Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta. 2011.
- [2] Eric Svenson. *DuraChrome Hard Chromium Plating*. Plating Resources, Inc. Cocoa. Florida. 2006.
- [3] Purwanto, Syamsul H. *Teknologi Industri Elektroplating*. Badan Penerbit Universitas Diponegoro. Semarang. 2005.
- [4] Sandi. *Pengaruh Temperatur, Rapat arus dan Waktu Proses pada Proses Hard Chrome Elektroplating Terhadap Kekerasan Permukaan Baja ST-42*. Master Thesis, ITB. Bandung. 2002.

Karakteristik Kinerja Mesin Diesel Stasioner dengan Bahan Bakar Campuran Biodiesel dari Biji Kemiri Sunan

Farida Ariani¹, Elisabeth Ginting², Tulus Burhanuddin Sitorus³

^{1,3}Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik USU

²Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik USU

Jl. Almamater Kampus USU - Telp/Fax 061-8213250, Kode Pos 20155

email: tbsitorus@ymail.com

Abstract

This study aims to investigate the characteristics of stationary diesel engines which use a mixture of diesel fuel - biodiesel from sunan candlenut seed. Experiments were done with diesel fuel, B5, B10, B15, and B20 with a variety of engine rotation and load variations. The results showed that the values of torque, power and thermal efficiency when the engine uses B5, B10, B15, and B20 tends to decrease if compared when engine use diesel fuel. And the specific fuel consumption when use B5, B10, B15, and B20 increased. From the results of experiments and calculations, the maximum power of 3.01 kW, minimum specific fuel consumption of 228.58 g/kWh and maximum thermal efficiency of 37.61% when using diesel fuel. However, exhaust emissions were measured include opacity, carbon monoxide and hydrocarbons when the engine using biodiesel B5, B10, B15, and B20 decreased. By using statistical study also obtained correlation and regression equations involving engine performance parameters.

Keywords: sunan candlenut seed, engine performance

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi saat ini terutama sangat bergantung pada bahan bakar fosil. Hampir 26-27% konsumsi energi dipenuhi oleh bahan bakar fosil pada sektor transportasi dimana jenis bahan bakar ini seharusnya dapat digantikan pada tahun 2050 [1, 2]. Salah satu bahan bakar alternatif tersebut adalah biofuel yang dapat berupa alkohol dan biodiesel serta direkomendasikan sebagai bahan bakar alternatif untuk motor bakar [3,4,5]. Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang cukup menjanjikan karena bersifat terbarukan, *biodegradable*, tidak beracun dan ramah lingkungan [6, 7]. Biodiesel telah banyak digunakan pada mesin diesel terutama karena bahan bakunya dapat diperoleh dari berbagai macam seperti minyak tumbuh-tumbuhan, hewan, dan minyak bekas [8, 9, 10]. Jenis bahan bakar yang digunakan cukup mempengaruhi karakteristik dari suatu mesin. Karakteristik ini terkait erat dengan performansi yang dihasilkan oleh mesin tersebut dimana unjuk kerja mesin salah satunya dipengaruhi oleh jenis bahan bakar yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan kajian statistik kinerja mesin diesel stasioner satu silinder yang menggunakan bahan bakar campuran solar - biodiesel dari biji kemiri sunan. Saat ini biodiesel dari bahan baku biji kemiri sunan masih sangat jarang digunakan sebagai bahan bakar alternatif mesin diesel. Khusus untuk biodiesel dari biji kemiri sunan sangat potensial dimanfaatkan karena biji kemiri sunan tidak dikonsumsi oleh manusia sehingga tidak mengganggu kebutuhan pangan. Parameter kinerja mesin yang dikaji adalah daya, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi termal, dan emisi gas buang yang dihasilkan. Disamping itu dikaji

juga korelasi yang terjadi diantara parameter-parameter tersebut sehingga menghasilkan suatu persamaan regresi yang dapat digunakan untuk memprediksi parameter tertentu.

1.1. Studi Literatur

1.1.1. Parameter Motor Bakar

Kinerja dari motor diesel secara khusus ditunjukkan oleh nilai dari parameter-parameter mesin tersebut. Beberapa dari parameter tersebut dapat diuraikan seperti berikut [11, 12].

1.1.1.1. Torsi

Torsi merupakan parameter indikator yang cukup baik untuk mengetahui kemampuan mesin dalam melakukan suatu usaha. Torsi didefinisikan sebagai gaya yang bekerja pada jarak tertentu dan memiliki satuan Nm atau lbf-ft. Besarnya torsi suatu mesin dapat diperoleh dari hasil pengujian dengan menggunakan alat *dynamometer test*.

1.1.1.2. Daya Mesin

Pada motor bakar umumnya dikenal ada dua jenis yaitu daya poros dan daya indikator. Daya tersebut dipengaruhi oleh putaran mesin dan torsi yang dihasilkan mesin. Namun yang digunakan dalam praktek di lapangan adalah daya poros. Daya poros atau daya efektif merupakan daya yang dihasilkan suatu mesin pada poros keluarannya atau biasa dikenal dengan *brake horse power* yang dihitung dengan persamaan :

$$W = \frac{2\pi \cdot N \cdot \tau}{60000} \text{ (kW)} \quad (1)$$

dimana N adalah putaran mesin (rpm) dan τ adalah torsi mesin (Nm).

1.1.2. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Konsumsi bahan bakar merupakan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi per satuan unit daya yang dihasilkan per jam operasi. Secara tidak langsung konsumsi bahan bakar spesifik merupakan indikasi efisiensi mesin dalam menghasilkan daya dari pembakaran bahan bakar. Besarnya konsumsi bahan bakar spesifik dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$sfc = \frac{m_f}{W} \cdot 3600000 \text{ (gr/kWh)} \quad (2)$$

dimana m_f adalah laju aliran massa bahan bakar (kg/s).

1.1.3. Efisiensi Termal

Efisiensi termal suatu mesin didefinisikan sebagai rasio antara energi keluaran dengan energi kimia yang masuk yang dikandung bahan bakar dalam bentuk bahan bakar yang dihisap ke dalam ruang bakar. Efisiensi termal didefinisikan sebagai:

$$\eta_t = \frac{W}{m_f \cdot Q_{HV} \cdot \eta_c} \quad (3)$$

dimana Q_{HV} = nilai kalor bahan bakar (kJ/kg) dan η_c adalah efisiensi pembakaran yang bernilai 0,97.

1.1.4. Kajian Statistik Korelasi dan Analisa Regresi

Analisis korelasi digunakan untuk mengetahui ada tidaknya hubungan diantara satu atau beberapa variabel. Bila analisis korelasi hanya mencakup dua variabel X dan Y maka disebut analisis korelasi linear sederhana (*simple linear correlation*), namun bila mencakup lebih dari dua variabel maka dinamakan analisis korelasi linear berganda (*multiple linear correlation*).

Persamaan statistika untuk koefisien korelasi menurut Karl Pearson [13] adalah sebagai berikut:

$$r = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2} \sqrt{N \sum Y^2 - (\sum Y)^2}} \quad (4)$$

dengan r adalah koefisien korelasi dan X, Y adalah variabel bebas. Koefisien korelasi akan bernilai satu bila terdapat hubungan linear yang positif dan bernilai -1 bila terdapat hubungan linear yang negatif. Dan bila nilai korelasi diantara -1 dan +1, hal ini menunjukkan tingkat dependensi linear antara dua variabel. Bila semakin dekat dengan nilai -1 atau +1, maka akan semakin kuat korelasi antara kedua variabel tersebut. Bila variabel-variabel tersebut saling bebas maka nilai korelasi sama dengan 0. Apabila ternyata analisa korelasi menunjukkan hubungan yang cukup kuat, maka analisis dapat dilanjutkan ke sistem analisis regresi. Secara umum regresi linear terdiri dari dua jenis yaitu regresi linear sederhana yaitu dengan satu buah variabel bebas dan satu buah variabel terikat dan regresi linear berganda dengan beberapa variabel bebas dan satu buah variabel terikat. Dalam analisa regresi akan dikembangkan sebuah persamaan regresi yaitu persamaan matematika untuk mendapat nilai variabel terikat dari nilai variabel bebas yang diketahui. Karena pada penelitian ini terdapat lebih dari satu variabel bebas maka yang digunakan adalah persamaan regresi berganda. Persamaan regresi berganda memiliki bentuk persamaan :

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 \quad (5)$$

Nilai koefisien regresi b_1 dan b_2 dapat diperoleh dengan memakai aturan-aturan dalam matriks dimana :

$$b_1 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_2^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n X_1 Y \right) - \left(\sum_{i=1}^n X_1 X_2 \right) \left(\sum_{i=1}^n X_2 Y \right)}{\left(\sum_{i=1}^n X_1^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n X_2^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n X_1 X_2 \right)^2} \quad (6)$$

$$b_2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_1^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n X_2 Y \right) - \left(\sum_{i=1}^n X_1 X_2 \right) \left(\sum_{i=1}^n X_1 Y \right)}{\left(\sum_{i=1}^n X_1^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n X_2^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n X_1 X_2 \right)^2} \quad (7)$$

Dengan mengetahui nilai b_1 dan b_2 maka nilai b_0 dapat ditentukan dengan persamaan

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X}_1 - b_2 \bar{X}_2 \quad (8)$$

dengan $\bar{Y}$ adalah nilai rata-rata dari variabel Y dan $\bar{X}$ adalah nilai rata-rata dari variabel X .

2. Metodologi Penelitian

2.1. Bahan

Pengujian dilakukan dengan menggunakan bahan bakar solar dan campuran solar - biodiesel biji kemiri sunan dengan komposisi sebagai berikut:

1. B5 yaitu 5 % biodiesel biji kemiri sunan dan 95 % solar
2. B10 yaitu 10 % biodiesel biji kemiri sunan dan 90 % solar

3. B15 yaitu 15 % biodiesel biji kemiri sunan dan 85 % solar
4. B20 yaitu 20 % biodiesel biji kemiri sunan dan 80 % solar



Gambar 1. Bahan bakar yang digunakan

2.2. Peralatan Utama

Alat utama yang dipakai dalam penelitian ini terdiri dari:

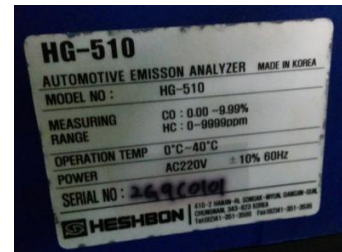
1. Mesin diesel stasioner satu silinder.
2. *Calorimeter bomb* untuk mengetahui nilai kalor bahan bakar.
3. *Automotive emission analyzer* untuk mengetahui komposisi emisi gas buang.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. a) *calorimeter bomb* b) mesin diesel uji c). *automotive emission analyzer*

Tabel 1. Data spesifikasi mesin [14]

Tipe	ROBIN - FUJI DY23D
Posisi katup	Overhead
<i>Valve rocker clearance</i>	0,10 mm (cold)
Kapasitas mesin	230 cm ³
Diameter silinder (<i>bore</i>)	70 mm
Panjang langkah (<i>stroke</i>)	60 mm
Rasio kompresi	21
Jumlah silinder	1
Daya maksimum	4.2 kW / 3750 rpm
Torsi maksimum	11.2 Nm / 3500 rpm
Waktu injeksi	23° BTDC

2.3. Skema Eksperimental

Mesin diesel stasioner satu silinder yang telah di *tune up* dipersiapkan dan dihubungkan dengan alat ukur serta alat pendukung. Alat ukur emisi gas buang ditempatkan pada bagian knalpot. Mesin dihidupkan dan dilakukan pemanasan sekitar 5-10 menit agar kondisi mesin mencapai stabil untuk pengujian.



Gambar 3. Skema eksperimental yang dilakukan

Proses pengujian dilakukan dengan melakukan variasi campuran bahan bakar sesuai perbandingan yang telah ditentukan (minyak solar, B5, B10, B15, dan B20). Jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk setiap sampel pengujian sekitar 8 ml. Disamping itu juga dilakukan variasi putaran mesin 1000 rpm, 1400 rpm, 1800 rpm, 2200 rpm, 2600 rpm, dan 2800 rpm serta variasi beban statis sebesar 3 kg dan 4 kg.

3. Hasil dan Pembahasan

Pembahasan pada penelitian ini dikaji ke dalam beberapa bagian yaitu pengujian nilai kalor bahan bakar, pengujian kinerja mesin diesel, dan kajian statistik terhadap kinerja mesin diesel yang diuji.

3.1. Pengujian Nilai Kalor Bahan Bakar

Proses pengujian nilai kalor minyak solar, B5, B10, B15, dan B20 dilakukan dengan menguji masing-masing bahan bakar sebanyak lima sampel. Hasil uji kelima sampel kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai kalor bahan. Dari hasil pengujian di laboratorium dengan menggunakan peralatan *calorimeter bomb* diperoleh bahwa nilai kalor paling tinggi terdapat pada minyak solar sebesar 43142,47 kJ/kg. Dan nilai kalor paling rendah terdapat pada bahan bakar B20 yaitu 36818,92 kJ/kg. Nilai kalor bahan bakar menunjukkan energi yang dihasilkan pada saat proses pembakaran bahan bakar per satuan massanya dimana nilai kalor dipengaruhi oleh komposisi penyusun bahan bakar tersebut. Semakin tinggi konsentrasi biodiesel di dalam campuran solar-biodiesel maka semakin rendah nilai kalor bahan bakar tersebut. Nilai kalor bahan bakar B20 paling rendah disebabkan karena meningkatnya kadar oksigen dalam struktur bahan bakar tersebut. Sehingga untuk mendapatkan jumlah energi yang sama maka jumlah B20 yang diperlukan menjadi lebih besar.

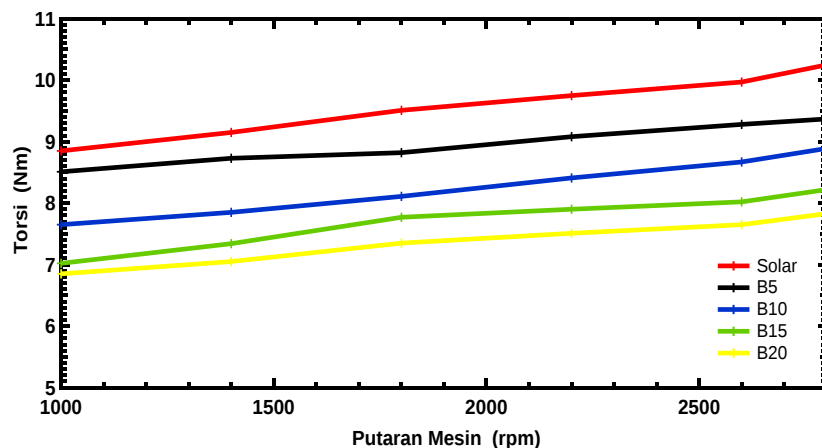
Tabel 2. Hasil pengujian nilai kalor bahan bakar

Bahan Bakar	Nilai Kalor (kJ/kg)
Minyak solar	43142,47
B5	41230,70
B10	40201,29
B15	39024,81
B20	36818,92

3.2. Pengujian Kinerja Mesin Diesel

3.2.1. Torsi

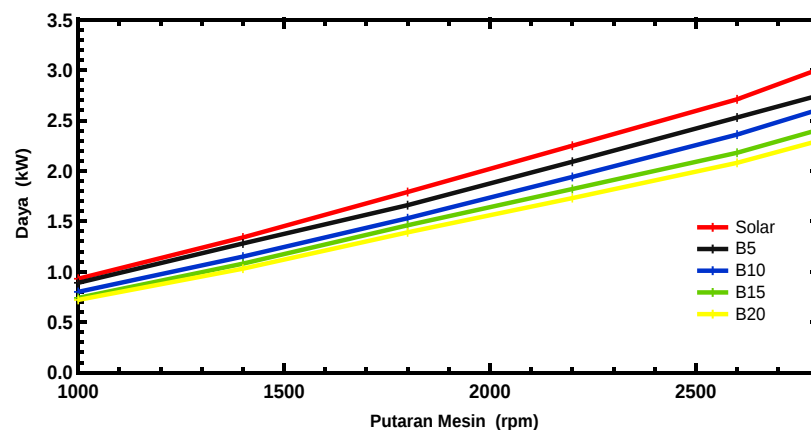
Dari data hasil pengujian diperoleh torsi maksimum sebesar 10,25 Nm yang terjadi pada saat mesin beroperasi pada putaran mesin 2800 rpm dan beban 4 kg dengan menggunakan bahan bakar solar seperti tampak pada Gambar 4. Sedangkan untuk torsi minimum diperoleh 3,35 Nm dengan bahan bakar B20 dan beban 3 kg dengan putaran mesin 1000 rpm. Torsi yang dihasilkan bila mesin menggunakan bahan bakar B20 merupakan yang paling rendah sebab besarnya torsi sangat dipengaruhi oleh energi hasil pembakaran bahan bakar. Dimana besarnya hasil energi hasil pembakaran bahan bakar dipengaruhi oleh nilai kalor bahan bakar. Nilai kalor bahan bakar B20 merupakan yang paling rendah jika dibandingkan dengan nilai kalor bahan bakar solar dan campuran biodiesel lainnya.



Gambar 4. Torsi mesin untuk beban 4 kilogram

3.2.2. Daya

Dari hasil pengujian yang tampak pada Gambar 5 didapatkan bahwa daya maksimum sebesar 3,01 kW terjadi pada saat mesin beroperasi pada putaran mesin 2800 rpm dan beban 4 kg dengan menggunakan bahan bakar solar. Sedangkan untuk daya minimum diperoleh 0,35 kW dengan bahan bakar B20 dan beban 3 kg dengan putaran mesin 1000 rpm.



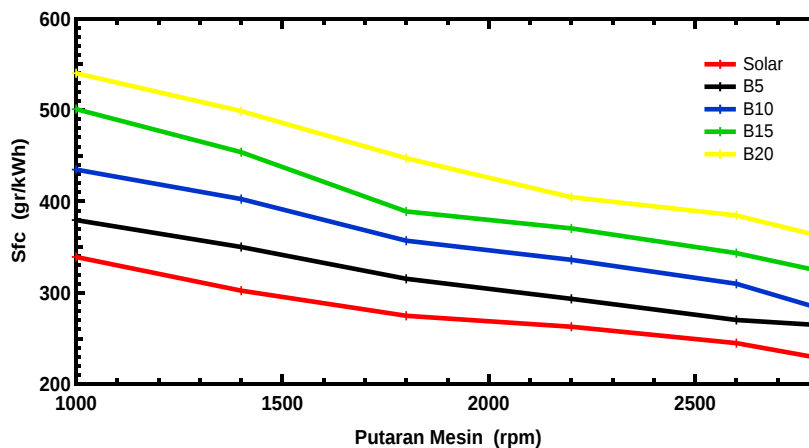
Gambar 5. Daya mesin untuk beban 4 kilogram

Hal yang paling berpengaruh terhadap daya poros yang dihasilkan oleh mesin adalah torsi. Bila torsi mesin semakin besar maka daya poros yang dihasilkan juga semakin besar dan begitu juga sebaliknya. Hal ini disebabkan perubahan daya berbanding linear dengan torsi mesin.

Faktor lain yang memungkinkan terjadinya penurunan daya poros pada B15, B10, B15, dan B20 adalah karena kurang tepatnya *setting timing injection*, hal ini disebabkan bilangan setana biodiesel lebih tinggi dari solar sehingga diperlukan *ignition delay* yang lebih pendek. Sehingga diperlukan upaya untuk memajukan *timing injection* untuk mendapatkan daya yang optimum. Dan perlu diketahui bahwa pada saat pengujian, tidak dilakukan modifikasi pada mesin diesel uji.

3.2.3. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Sfc)

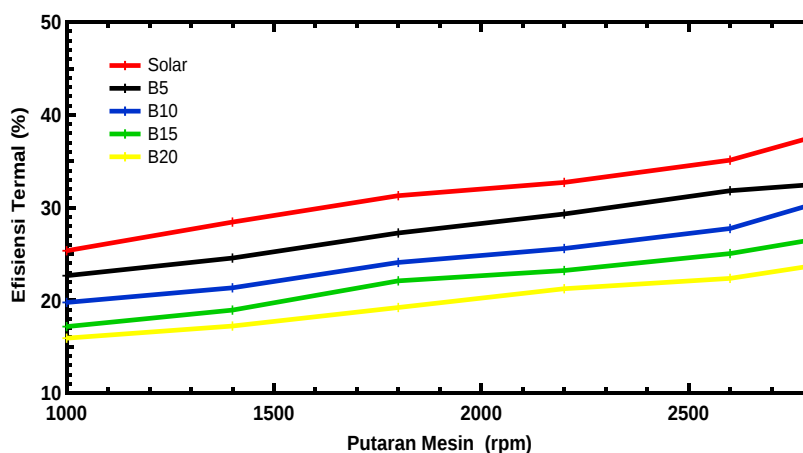
Dari hasil pengujian didapatkan bahwa nilai Sfc maksimum sebesar 888,76 gr/kWh dengan menggunakan B20 untuk putaran mesin 1000 rpm serta beban 3 kg. Tampak pada Gambar 6 bahwa nilai Sfc minimum diperoleh 228,58 gr/kWh dengan putaran mesin 2800 rpm serta bahan bakar yang digunakan solar untuk beban 4 kg. Konsumsi bahan bakar spesifik rata-rata yang dihasilkan dari pengujian yang dilakukan adalah 376,91 gr/kWh. Secara umum konsumsi bahan bakar spesifik untuk mesin yang menggunakan bahan bakar B5, B10, B15, dan B20 mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan dengan oleh nilai kalor B5, B10, B15, dan B20 yang lebih rendah dibandingkan dengan solar akibat adanya oksigen di dalam biodiesel yang mengakibatkan campuran udara-bahan bakar menjadi lebih miskin (*lean mixture*) sehingga untuk mendapatkan kinerja yang diinginkan maka campuran udara-bahan bakar harus dibuat lebih kaya (*rich mixture*). Kondisi ini membuat bahan bakar yang dibutuhkan menjadi lebih banyak dibandingkan bila menggunakan bahan bakar solar.



Gambar 6. Konsumsi bahan bakar spesifik untuk berbagai jenis bahan bakar

3.2.4. Efisiensi Termal

Hasil pengujian yang ditampilkan pada Gambar 7 menunjukkan bahwa harga efisiensi termal maksimum sebesar 37,61% dengan menggunakan solar untuk putaran mesin 2800 rpm serta beban 4 kg. Nilai efisiensi termal minimum diperoleh 9,67% dengan putaran mesin 1000 rpm serta bahan bakar yang digunakan B20 untuk beban 3 kg. Harga efisiensi termal rata-rata yang dihasilkan dari pengujian yang dilakukan adalah 24,48%. Besarnya penurunan efisiensi termal bila mesin diesel uji menggunakan bahan bakar campuran adalah berkisar 9,38%-39,39%. Rata-rata penurunan efisiensi termal yang terjadi saat mesin menggunakan bahan bakar campuran solar-biodiesel biji kemiri sunan adalah 25,34%. Seperti diketahui bahwa efisiensi termal dari motor bakar dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti daya poros mesin, laju aliran bahan bakar ke ruang bakar dan nilai kalor bahan bakar yang digunakan. Ketiga parameter tersebut secara simultan mempengaruhi pencapaian efisiensi termal suatu mesin.



Gambar 7. Efisiensi termal untuk berbagai jenis bahan bakar

3.2.5. Emisi Gas Buang

Pada penelitian ini, emisi gas buang yang diteliti adalah opasitas atau konsentrasi kekabutan, hidrokarbon (HC) dan karbonmonoksida (CO) dimana alat ukur yang digunakan adalah *smoke meter* dan *gas analyzer*. Data hasil pengukuran emisi gas buang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data hasil pengukuran emisi gas buang

Beban Statis (kg)	Bahan Bakar	Opasitas (%)	CO (%)	HC (ppm)
3	Minyak solar	28.64	0.07	40.21
	B5	26.51	0.07	31.21
	B10	23.74	0.06	29.21
	B15	21.51	0.06	25.54
	B20	20.11	0.05	22.87
4	Minyak solar	25.74	0.07	37.87
	B5	22.57	0.06	34.21
	B10	21.54	0.06	27.87
	B15	20.64	0.05	24.54
	B20	19.74	0.05	21.54

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh bahwa bila mesin menggunakan B5, B10, B15, dan B20 diperoleh penurunan emisi gas buang karbon monoksida (CO) berkisar 14%-28% untuk semua jenis variasi beban dan putaran mesin. Emisi gas buang CO terjadi akibat kekurangan oksigen sehingga proses pembakaran berlangsung secara tidak sempurna karena banyak atom C (karbon) yang tidak mendapatkan cukup oksigen sehingga terbentuk gas CO. Kondisi ini sebaliknya akan membuat emisi CO₂ mengalami peningkatan. Hal ini memiliki argumentasi bahwa biodiesel memiliki kelebihan atom oksigen sehingga biodiesel merupakan bahan bakar yang bersifat oksigenat yang memiliki kemampuan untuk mengikat molekul CO menjadi CO₂. Sedangkan penurunan emisi gas buang HC berkisar 9,66%-43,12% untuk semua jenis variasi beban dan putaran mesin. Adanya emisi HC disebabkan oleh proses pembakaran yang kurang sempurna. Biodiesel B5, B10, B15, dan B20 yang memiliki ikatan OH di dalam susunan

molekulnya membuat proses pembakaran bahan bakar di ruang bakar menjadi lebih baik sehingga emisi gas buang yang dihasilkan menjadi lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar solar.

3.3. Korelasi dan Analisa Regresi

Dengan menggunakan kajian statistik maka diperoleh korelasi antar parameter seperti tampak pada Tabel 4 dan koefisien determinasi. Besarnya nilai korelasi diantara parameter kinerja mesin diesel dapat dikatakan cukup signifikan.

Tabel 4. Korelasi parameter kinerja mesin diesel

Parameter	Torsi	AFR	Daya	Sfc	Efisiensi termal
Torsi	1				
AFR	-0.365	1			
Daya	0.719	0.090	1		
Sfc	-0.686	-0.357	-0.711	1	
Efisiensi termal	0.703	0.393	0.816	-0.921	1

Korelasi daya poros mesin dengan konsumsi bahan bakar spesifik yaitu -0,711 dimana hal ini mengindikasikan bahwa bila daya poros yang dihasilkan mesin meningkat maka konsumsi bahan bakar spesifik semakin turun dan begitu sebaliknya. Dan korelasi yang terjadi diantara daya poros dengan efisiensi termal berkisar 0,816 yang berarti bahwa bila daya poros meningkat maka efisiensi termal juga akan meningkat dan sebaliknya. Sedangkan nilai korelasi antara parameter konsumsi bahan bakar spesifik dengan efisiensi termal adalah -0,921 dimana hal ini berarti bahwa dengan meningkatnya konsumsi bahan bakar spesifik maka efisiensi termal akan menurun dan sebaliknya. Dengan adanya korelasi yang signifikan diantara ketiga parameter tersebut maka dapat dilanjutkan dengan proses analisis regresi. Dengan menggunakan analisa regresi berganda, maka diperoleh persamaan regresi yang melibatkan parameter efisiensi termal (Y), torsi mesin (X_1), perbandingan udara - bahan bakar atau AFR (X_2), daya poros mesin (X_3) dan konsumsi bahan bakar spesifik (X_4) yaitu :

$$Y = -26,785 + 3,458 X_1 + 0,892 X_2 + 1,091 X_3 + 0,006 X_4$$

Persamaan regresi yang diperoleh ini dapat digunakan untuk memprediksi besarnya efisiensi termal dengan mengetahui torsi mesin, AFR, daya poros dan konsumsi bahan bakar spesifik untuk mesin diesel yang diuji. Disamping itu diperoleh juga koefisien determinasi sebesar 98,9%, yang menyatakan bahwa pengaruh parameter torsi mesin, AFR, daya poros mesin dan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap efisiensi termal untuk mesin diesel yang diuji sebesar 98,9%.

4. Kesimpulan

Besarnya nilai kalor suatu bahan bakar dipengaruhi oleh komposisi unsur penyusun bahan bakar tersebut. Semakin besar konsentrasi biodiesel di dalam bahan bakar campuran solar - biodiesel maka semakin kecil nilai kalor bahan bakar tersebut. Dari hasil pengujian, B20 memiliki nilai kalor yang paling kecil.

Berdasarkan data pengujian diperoleh bahwa penggunaan campuran bahan bakar biodiesel dari biji kemiri sunan - solar mengalami penurunan daya, kenaikan konsumsi bahan bakar spesifik dan penurunan efisiensi termal. Data pengujian menunjukkan besarnya daya maksimum 3.01 kW, konsumsi bahan bakar spesifik 228,58 gr/kWh dan efisiensi termal maksimum 37,61% saat mesin menggunakan bahan bakar solar. Dari data pengukuran saat pengujian diperoleh juga bahwa terjadi penurunan emisi gas buang berupa opasitas, CO dan

HC saat mesin menggunakan bahan bakar B5, B10, B5, dan B20 untuk semua variasi beban dan putaran mesin yang dilakukan.

Dari analisa kajian statistik untuk parameter kinerja mesin diesel yang diuji diperoleh hubungan yang cukup signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa persamaan baku untuk menentukan parameter motor bakar dengan data hasil pengujian memiliki korelasi yang cukup baik. Diperoleh juga nilai koefisien determinasi sebesar 98,9%, yang menyatakan bahwa pengaruh torsi mesin, AFR, daya poros mesin dan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap efisiensi termal sebesar 98,9%.

Daftar Pustaka

- [1] H.K. Imdadul. Higher alcohol-biodiesel-diesel blends: *An approach for improving the performance, emission, and combustion of a light-duty diesel engine*. Energy Conversion and Management. 2016; 111; 174-185.
- [2] Imdadul H, Masjuki H, Kalam MA, Zulkifli N, Rashed M, Rashedul H. *A comprehensive review on the assessment of fuel additives effects on combustion behavior in CI engine fuelled with diesel biodiesel blends*. RSC Adv, 2015.
- [3] Murari Mohon Roy, Wilson Wang, Justin Bujold. *Biodiesel production and comparison of emissions of a DI diesel engine fueled by biodiesel-diesel and canola oil-diesel blends at high idling operations*. Applied Energy. 2013; 106; 198-208.
- [4] Agarwal AK. *Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines*. Prog Energy Combust Sci. 2007;33:233-71.
- [5] Demirbas A. *Progress and recent trends in biofuels*. Prog Energy Combust Sci. 2007; 33:1-18.
- [6] H.K. Rashedul, H.H. Masjuki, M.A. Kalam, Y.H. Teoh, H.G. How, I.M. Rizwanul Fattah. *Effect of antioxidant on the oxidation stability and combustion-performance-emission characteristics of a diesel engine fueled with diesel-biodiesel blend*. Energy Conversion and Management. 2015; 106; 849-858.
- [7] Sajjad H, Masjuki H, Varman M, Kalam M, Arbab M, Imtenan S, et al. *Comparative study of gas-to-liquid fuel, B5 diesel and their blends with respect to fuel properties, engine performance and exhaust emissions*. RSC Adv 2014;4:44529-36.
- [8] Chih-Cheng Chou, Ying-Wei Lin, Chia-Jui Chiang, Yong-Yuan Ku. *Experimental Analysis of a Turbo-Charged Common-Rail Diesel Engine Fueled with Biodiesel*. Energy Procedia. 2014; 61; 1167 - 1170.
- [9] United States Environmental Protection Agency, *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions*, EPA420-P-02-001, 2002.
- [10] Mohd Hafizil Mat Yasina, Rizalman Mamata, Ahmad Fitri Yusop. *Comparative study on biodiesel-methanol-diesel low proportion blends operating with a diesel engine*. Energy Procedia. 2015; 75; 10 - 16.
- [11] Willard W. Pulkabek. *Engineering Fundamentals of The Internal Combustion Engine*. University of Wisconsin, Prentice Hall New Jersey. 2004.
- [12] John B. Heywood. *Internal Combustion Engines Fundamentals*. Masschusetts Institute of Technology. 1988.
- [13] Sugiyono. *Statistika untuk Penelitian*. Alfabeta, Bandung, ISBN 978-979-84336-10-8, Cetakan ke-16. 2010.
- [14] Manual Book of TD 110-115 *Test Bed Instrumentation for Small Engines*, TQ Education and Training Ltd-Product Division. 2000.

Visualisasi Aturan Asosiasi Berbasis *Graph* untuk Data Tindak Kejahatan

Eduardus Hardika Sandy Atmaja

Program Studi Teknik Informatika,
Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta, Indonesia
e-mail: eduardus777@gmail.com

Abstract

Criminality is a social problem causing negative impacts on society welfare. Police as law enforcement officer was required to take actions to prevent criminality which was increasingly widespread. Such efforts could be realized by analyzing criminal data to obtain useful information for the preparation of criminal prevention strategies. However, extracting knowledge from criminal data effectively was a problematique for them. In this study, data mining was used to solve knowledge extraction problem from the dataset. The technique was aimed to get information about crime patterns by analyzing criminal activity habits. Association rule mining and apriori algorithm were used to find crime patterns. Generating crime patterns in data mining was difficult to understand when there were too many rules. Graph based visualization of association rules designed to solve that problem. Generated visualization showed relationship between crimes. That visualization was expected to help the police to understand the crime pattern so they could do prevention efforts more effectively. The results showed that the visualization of association rules could present association rules in more interesting way and described the crime pattern.

Keywords: data mining, association rule mining, apriori algorithm, visualization, graph

1. Pendahuluan

Kriminalitas merupakan tindakan melanggar hukum atau dapat disebut pula tindak kejahatan yang merugikan orang lain dan melanggar norma-norma yang ada dalam masyarakat [1-2]. Kriminalitas tergolong tindakan yang sulit untuk dihindari dan sering terjadi di masyarakat. Meskipun sulit untuk dihindari namun upaya-upaya pencegahan perlu dilakukan untuk mengurangi kriminalitas yang terjadi.

Kepolisian merupakan pihak yang bertanggung jawab atas keamanan di masyarakat. Oleh karena itu, upaya pencegahan kriminalitas merupakan tanggung jawab kepolisian. Kepolisian dituntut untuk mengetahui dan memahami tindak kejahatan yang terjadi di masyarakat sehingga kepolisian dapat memaksimalkan tugasnya dalam melakukan usaha pencegahan kriminalitas. Informasi yang selama ini digunakan oleh kepolisian berasal dari data-data kasus kejahatan yang terjadi dan telah diperiksa kebenarannya.

Menurut keterangan dari Ibu Khatarina Ekorini, S.S selaku Kepala Sub Bagian Administrasi Pembinaan Operasi Bagian Pembinaan Operasi Direktorat Reserse Kriminal Umum Polisi Daerah Istimewa Yogyakarta, data-data kasus kejahatan yang disimpan oleh Polisi Daerah Istimewa Yogyakarta masih belum diolah secara maksimal (komunikasi pribadi dengan penulis pada tahun 2016). Hal tersebut dikarenakan penyimpanan data yang masih dilakukan secara manual yaitu dalam buku *register*. Setiap buku *register* menyimpan kasus kejahatan yang terjadi dalam satu tahun sehingga dibutuhkan banyak buku untuk menyimpan keseluruhan data. Proses pengolahan juga masih menggunakan *Microsoft Excel* untuk pembuatan laporan dalam bentuk diagram-diagram. Laporan yang disajikan juga terbatas pada tingkat kerawanan kejahatan yang dapat dihitung secara manual. Proses penyimpanan dan

pengolahan data yang secara manual dinilai kurang efektif dibandingkan dengan penggunaan sistem komputer.

Banyaknya tindak kejahatan dari hari ke hari yang dilaporkan ke kepolisian menyebabkan adanya tumpukan data. Tumpukan data tersebut dibiarkan begitu saja sehingga menjadi kuburan data yang miskin informasi terlebih data masih disimpan secara manual dalam bentuk buku. Data tersebut perlu disimpan dalam komputer yaitu dengan menggunakan suatu basis data agar lebih mudah untuk dilakukan pengolahan dan analisis dengan menggunakan suatu teknik tertentu. Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk menggali nilai dari tumpukan data kriminal tersebut adalah *data mining*.

Data mining merupakan teknik untuk mendapatkan informasi yang belum diketahui dari suatu basis data. Informasi penting yang dihasilkan diperoleh dengan cara mengekstraksi dan mengenali pola penting dari sekumpulan data. Salah satu metode data mining yang dapat digunakan untuk mendapatkan pola tersebut adalah metode *association rule mining*. *Association rule mining* dapat dikombinasikan dengan algoritma apriori untuk menemukan *frequent itemset* yang memenuhi nilai *threshold* yang diinginkan sehingga dihasilkan pola kejahatan.

Hasil dari pengolahan *association rule mining* dan algoritma apriori berupa pola tindak kejahatan, selanjutnya dinyatakan ke dalam visualisasi aturan asosiasi berbasis *graph* untuk mempermudah merepresentasikan pola kejahatan antara satu kejahatan dengan kejahatan lainnya. Dari visualisasi tersebut dapat diambil informasi jika seseorang melakukan satu tindak kejahatan maka seseorang kemungkinan juga melakukan tindak kejahatan lainnya yang perlu diwaspadai. Dengan demikian, pihak kepolisian dapat lebih mudah memahami pola tindak kejahatan dengan bantuan visualisasi tersebut. Diharapkan pihak kepolisian dapat memaksimalkan tugas pencegahan tindak kejahatan berdasarkan analisis pola tindak kejahatan dari pengolahan data tindak kejahatan.

Terdapat banyak penelitian *data mining* yang menggunakan metode *association rule mining* dan algoritma apriori, seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Fadlina[3], Wandi dkk [4], dan Tampubolon dkk [5]. Ketiganya sama-sama melakukan analisis terhadap sekumpulan data untuk mendapatkan pola yang sering muncul. Pola tersebut dapat dijadikan sebagai informasi yang berguna baik untuk rekomendasi maupun pertimbangan penyelesaian masalah. Hasil dari penelitian ketiganya masih disajikan dalam bentuk tabel yang akan menyulitkan pengguna ketika ingin membaca pola.

Terdapat pula penelitian yang membahas khusus mengenai implementasi *data mining* untuk analisis data kriminal seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Pereira dan Brandao[6]. Mereka memperkenalkan ARCA (*Association Rules for Crime Analysis*) yaitu pendekatan baru untuk menemukan pola kejahatan dari *dataset* kejahatan dengan menggunakan *association rule mining*. Algoritma apriori digunakan dalam pendekatan ini untuk mengenali pola kejahatan, sehingga dapat menyimpulkan informasi yang relevan tentang perilaku kriminal. Informasi tersebut berguna untuk mengoptimalkan kinerja penegak hukum dengan meningkatkan produktivitas aparat penegak hukum untuk mencegah dan mengurangi tindak kejahatan.

Beberapa penelitian di atas masih menghasilkan informasi dalam bentuk tabel yang berisi aturan asosiasi (*if-then*) yang dihasilkan dari proses pencarian pola. Hal tersebut dapat menimbulkan kesulitan bila ingin mengetahui gambaran pola antar *item*, untuk itu diperlukan suatu teknik visualisasi seperti yang telah dilakukan oleh Hahsler dan Chelluboina[7] serta Sekhavat dan Hoeber[8]. Mereka mencoba memvisualisasikan *market basket transactions* ke dalam beberapa model visualisasi yang berbeda. Hasil dari visualisasi *association rules* terlihat lebih menarik dengan beberapa visualisasi tersebut. Peneliti mencoba mengembangkan kembali teknik visualisasi untuk diimplementasikan pada data kepolisian milik Kepolisian Daerah Istimewa Yogyakarta yaitu dengan menggunakan teknik visualisasi *graph*.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan membangun sebuah sistem yang dikerjakan melalui beberapa tahap pelaksanaan kegiatan yang dijabarkan dalam beberapa poin di bawah ini.

2.1 Analisa

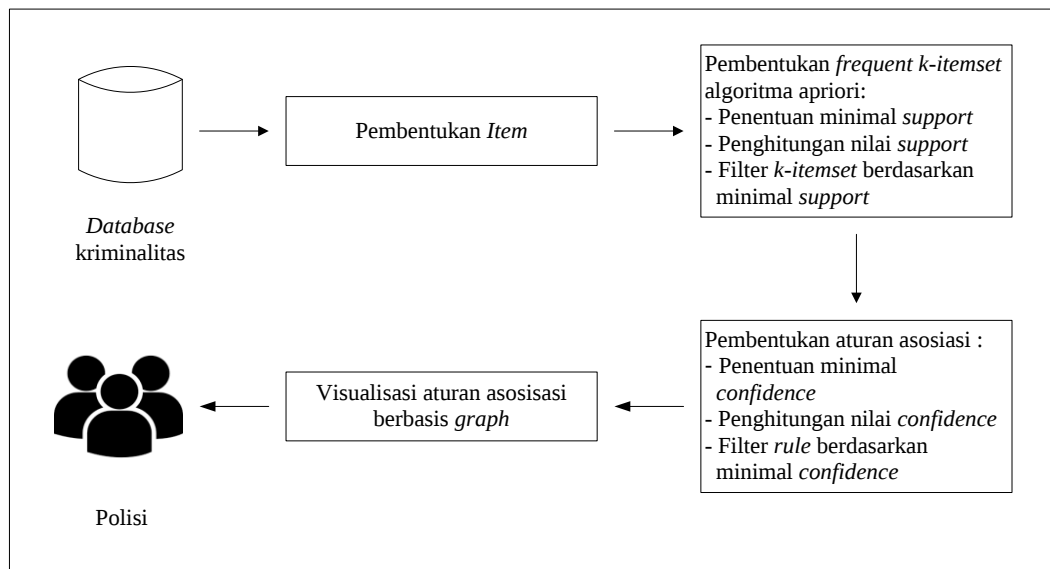
Data-data laporan polisi yang saat ini ada di Kepolisian Daerah Istimewa Yogyakarta masih diolah secara manual dan hanya merepresentasikan jumlah kejahatan untuk melihat kerawanan tindak kejahatan yang terjadi. Data-data tersebut juga tidak disimpan dalam basis data komputer tetapi hanya ditulis dalam kumpulan berita acara dan diringkaskan dalam buku *register*. Masing-masing buku *register* hanya menyimpan kasus-kasus yang terjadi dalam satu tahun.

Pencarian kerawanan kejahatan dihitung secara manual pada buku *register* di setiap akhir bulan. Selanjutnya data jumlah kejahatan yang telah dihitung dimasukkan ke dalam *Microsoft Excel* untuk dibuat laporan-laporan yang diinginkan. Hasil laporan-laporan yang saat ini tersedia berupa grafik dan diagram batang yang mencerminkan kerawanan tindak kejahatan.

Meskipun sudah ada laporan yang dapat merepresentasikan kerawanan tindak kejahatan, namun masih diperlukan informasi yang secara otomatis dapat menyajikan keterkaitan antara satu kejahatan dengan kejahatan lainnya. Informasi tersebut tidak hanya menyajikan kerawanan saja tetapi juga informasi kejahatan apa saja yang dapat terjadi pada satu kasus yang sama.

Sistem yang dirancang merupakan sistem yang dapat melakukan pencarian pola tindak kejahatan dari sekumpulan data yang diberikan. Data tindak kejahatan yang digunakan adalah data laporan polisi dari Kepolisian Daerah Istimewa Yogyakarta. Data tersebut diolah dengan menggunakan teknik *data mining* yaitu metode *association rule mining* dan algoritma apriori untuk mendapatkan pola tindak kejahatan dengan terlebih dahulu menentukan nilai *threshold* yaitu *support* dan *confidence*. Dari hasil pengolahan tersebut selanjutnya divisualisasikan ke dalam bentuk *graph* yang dapat merepresentasikan hubungan antar tindak kejahatan.

2.2 Arsitektur



Gambar 1. Arsitektur Sistem

Sistem yang dirancang terdiri dari beberapa proses yang digambarkan dalam arsitektur pada Gambar 1. Data laporan polisi yang telah didapat disimpan ke dalam basis data kriminalitas dengan menggunakan *database MySQL* yang selanjutnya digunakan sebagai masukan sistem. Data tersebut diolah menggunakan *association rule mining* dan algoritma

apriori yang hasilnya selanjutnya divisualisasikan ke dalam bentuk *graph*. Hasil visualisasi diberikan kepada pengguna yang dalam hal ini adalah pihak kepolisian.

2.3 Metode

2.3.1 Data tindak kejahatan

Misalkan dipunyai data sampel kejahatan sejumlah 25 data tindak kejahatan yang memiliki minimal dua jenis tindak pidana seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1. Dari Tabel 1, dicari aturan asosiasi antara jenis kejahatan satu dengan kejahatan lainnya dengan menggunakan metode *association rule mining* dan algoritma apriori.

Tabel 1. Contoh data tindak kejahatan

No	Kode No Laporan Polisi	Jenis Tindak Pidana	Tempat Kejadian	Ket
1	LP/659/IX/2014/DIY/S PKT 2 September 2010	Penggelapan, Pemalsuan Dokumen	Bangun Tapan	1,3 M
2	LP/694/IX/2014/DIY/S PKT 6 September 2014	Pencurian, Penipuan, Penggelapan	Kalasan	-
3	LP/701/IX/2014/DIY/S PKT 8 Agustus 2014	Perampasan, Penggelapan	Bangun Tapan	Tunggak Kredit
4	LP/706/IX/2014/DIY/S PKT 18 September 2014	Penganiayaan, Pengerusakan	Ngemplak	Aniaya
5	LP/708/IX/2014/DIY/S PKT 12 Desember 2001	Penipuan, Penggelapan	Yogyakarta	Tidak Setor
...	...	...	...	...
25	LP/831/X/2014/DIY/SP KT 27 Oktober 2014	Penipuan, Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik	Gedong Kuning	Iklan Berniaga

Selanjutnya dari Tabel 1, dicari semua nama jenis *item* kejahatan seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. *Item* jenis kejahatan

No	<i>Item</i>
1	Penggelapan
2	Pencurian
3	Penipuan
4	Perampasan
5	Penganiayaan
6	Pengerusakan
7	Pemalsuan Dokumen
8	Pencemaran Nama Baik
9	Keterangan Palsu
10	Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik
11	Fidusia

2.3.2 Pencarian pola frekuensi tertinggi

Untuk mencari pola frekuensi tertinggi terlebih dahulu dicari semua *item* beserta *support* untuk masing-masing *item* jenis kejahatan. Selanjutnya dicari kombinasi *item* yang memenuhi minimal *support*. Minimal *support* ditentukan sebesar 0,08. *Support* menunjukkan

seberapa besar tingkat dominasi suatu *item/itemset* dari keseluruhan transaksi. Nilai *support* dapat dihitung dengan rumus berikut[9]:

$$\text{support}(A) = \frac{\text{Banyaknya transaksi mengandung } A}{\text{Total transaksi}} \quad (1)$$

Hasil perhitungan *support* diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. *Item kejahatan dan nilai support*

<i>Item</i>	<i>Support</i>	<i>Support</i>
Penggelapan	9/25	0,36
Pencurian	2/25	0,08
Penipuan	17/25	0,68
Perampasan	1/25	0,04
Penganiayaan	1/25	0,04
Pengerusakan	1/25	0,04
Pemalsuan Dokumen	3/25	0,12
Pencemaran Nama Baik	1/25	0,04
Keterangan Palsu	1/25	0,04
Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik	13/25	0,52
Fidusia	2/25	0,08

Selanjutnya dipilih *item* yang memenuhi minimal *support* yang diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. *Item kejahatan yang memenuhi minimal support*

<i>Item</i>	<i>Support</i>	<i>Support</i>
Penggelapan	9/25	0,36
Pencurian	2/25	0,08
Penipuan	17/25	0,68
Pemalsuan Dokumen	3/25	0,12
Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik	13/25	0,52
Fidusia	2/25	0,08

2.3.3 Pembentukan pola kombinasi dua *itemset*

Pembentukan pola kombinasi dua *itemset*, didapat dari jenis kejahatan yang memenuhi minimal *support* dikombinasikan ke dalam dua pola kombinasi. Hasil kombinasi selanjutnya dihitung nilai *support* dengan rumus berikut[9]:

$$\text{support}(A \Rightarrow B) = \frac{\text{Banyaknya transaksi mengandung } A \text{ dan } B}{\text{Total transaksi}} \quad (2)$$

Hasil perhitungan *support* kombinasi dua *itemset* diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. *Pola kombinasi dua itemset*

<i>Itemset</i>	<i>Support</i>	<i>Support</i>
Penggelapan, Pencurian	1/25	0,04
Penggelapan, Penipuan	4/25	0,16
Penggelapan, Pemalsuan Dokumen	2/25	0,08
Penggelapan, Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik	0/25	0
Penggelapan, Fidusia	2/25	0,08

Pencurian, Penipuan	1/25	0,04
Pencurian, Pemalsuan Dokumen	1/25	0,04
Pencurian, Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik	0/25	0
Pencurian, Fidusia	0/25	0
Penipuan, Pemalsuan Dokumen	0/25	0
Penipuan, Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik	13/25	0,52
Penipuan, Fidusia	0/25	0
Pemalsuan Dokumen, Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik	0/25	0
Pemalsuan Dokumen, Fidusia	0/25	0
Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik, Fidusia	0/25	0

Data pada Tabel 5 merupakan hasil dari semua kombinasi dua *itemset*, selanjutnya dipilih *itemset* dengan minimal *support*. *Itemset* yang memenuhi minimal *support* diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Pola kombinasi dua *itemset* yang memenuhi minimal *support*

<i>Itemset</i>	<i>Support</i>	<i>Support</i>
Penggelapan, Penipuan	4/25	0,16
Penggelapan, Pemalsuan Dokumen	2/25	0,08
Penggelapan, Fidusia	2/25	0,08
Penipuan, Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik	13/25	0,52

2.3.4 Pembentukan pola kombinasi tiga *itemset*

Pembentukan pola kombinasi tiga *itemset*, dibentuk dari pola kombinasi dua *itemset* yang memenuhi minimal *support*, dengan cara mengkombinasikan dua *itemset* dengan salah satu *item* pada kombinasi dua *itemset* yang lain.

Hasil pembentukan kombinasi tiga *itemset* diperlihatkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Pola kombinasi tiga *itemset*

<i>Itemset</i>	<i>Support</i>	<i>Support</i>
Penggelapan, Penipuan, Pemalsuan Dokumen	0/25	0
Penggelapan, Penipuan, Fidusia	0/25	0
Penggelapan, Penipuan, Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik	0/25	0
Penggelapan, Pemalsuan Dokumen, Fidusia	0/25	0
Penggelapan, Pemalsuan Dokumen, Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik	0/25	0
Penggelapan, Fidusia, Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik	0/25	0

Data pada Tabel 7 merupakan hasil dari semua kombinasi tiga *itemset*, namun tidak ada *itemset* yang memenuhi minimal *support* sehingga iterasi berhenti.

2.3.5 Pembentukan aturan asosiasi

Setelah pola frekuensi tertinggi ditemukan, selanjutnya dilakukan pembentukan aturan asosiasi dengan cara mencari *candidate rules* dari masing-masing *frequent itemset* dan menghitung *confidence*-nya serta membandingkan dengan minimal *confidence* sebesar 0,22. Nilai *confidence* dihitung dengan rumus berikut[9]:

$$confidence(A \Rightarrow B) = \frac{\text{Banyaknya transaksi mengandung } A \text{ dan } B}{\text{Banyaknya transaksi mengandung } A} \quad (3)$$

Hasil perhitungan *confidence* disajikan dalam Tabel 8.

Tabel 8. *Itemset kejahatan dan nilai confidence*

Itemset	Confidence	Confidence
Penggelapan, Penipuan	4/9	0,44
Penipuan, Penggelapan	4/17	0,24
Penggelapan, Pemalsuan Dokumen	2/9	0,22
Pemalsuan Dokumen, Penggelapan	2/3	0,67
Penggelapan, Fidusia	2/9	0,22
Fidusia, Penggelapan	2/2	1
Penipuan, Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik	13/17	0,76
Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik, Penipuan	13/13	1

Pada Tabel 8, semua kombinasi *item* sudah memenuhi minimal *confidence*. Sehingga didapatkan *association rules* yang diperlihatkan pada Tabel 9.

Tabel 9. *Association rules yang terbentuk*

Rules	Support	Confidence
Jika dilakukan Penggelapan maka dilakukan Penipuan	0,16	0,44
Jika dilakukan Penipuan maka dilakukan Penggelapan	0,16	0,24
Jika dilakukan Penggelapan maka dilakukan Pemalsuan Dokumen	0,08	0,22
Jika dilakukan Pemalsuan Dokumen maka dilakukan Penggelapan	0,08	0,67
Jika dilakukan Penggelapan maka dilakukan Fidusia	0,08	0,22
Jika dilakukan Fidusia maka dilakukan Penggelapan	0,08	1
Jika dilakukan Penipuan maka dilakukan Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik	0,52	0,76
Jika dilakukan Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik maka dilakukan Penipuan	0,52	1

2.3.6 Visualisasi aturan asosiasi

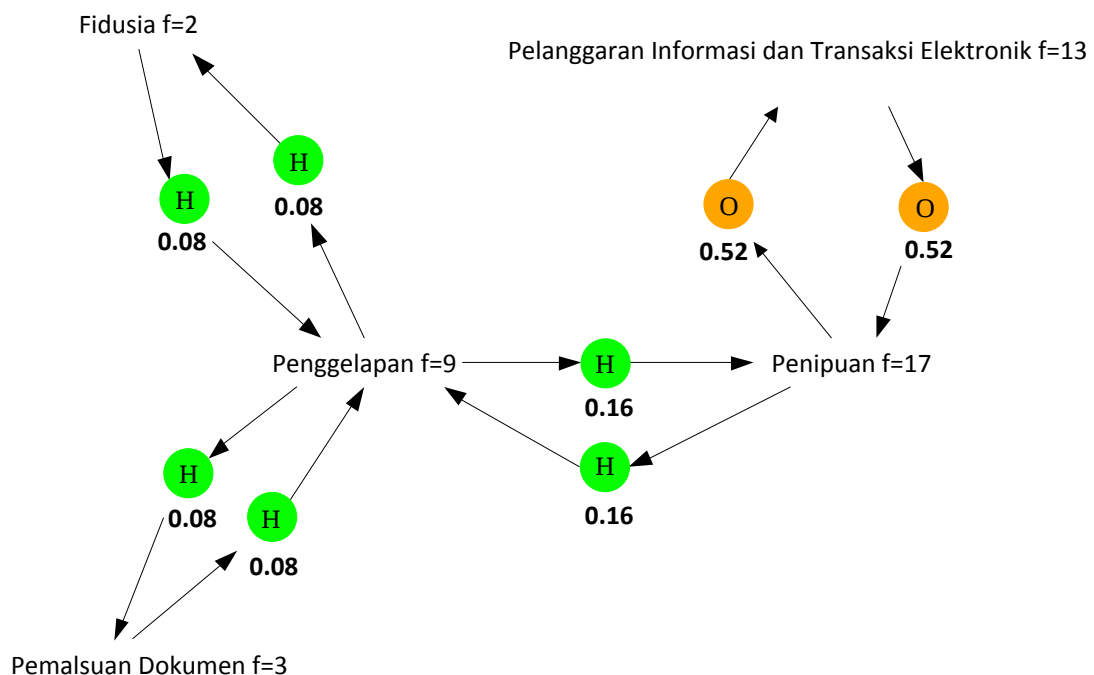
Setelah ditemukan aturan asosiasi, selanjutnya aturan tersebut disajikan dalam bentuk *graph*. Pada Gambar 2 diperlihatkan hasil visualisasi dari aturan-aturan asosiasi yang terdapat pada Tabel 9. Sebagai contoh aturan pada Tabel 9 adalah sebagai berikut.

IF Penggelapan **THEN** Penipuan (*support* 0,16)

(Atau dengan pengertian yang sama adalah: jika seseorang melakukan Penggelapan maka seseorang kemungkinan juga melakukan Penipuan dengan nilai pendukung 0,16)

IF Penipuan **THEN** Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik (*support* 0,52)

(Atau dengan pengertian yang sama adalah: jika seseorang melakukan Penipuan maka seseorang kemungkinan juga melakukan Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik dengan nilai pendukung 0,52)



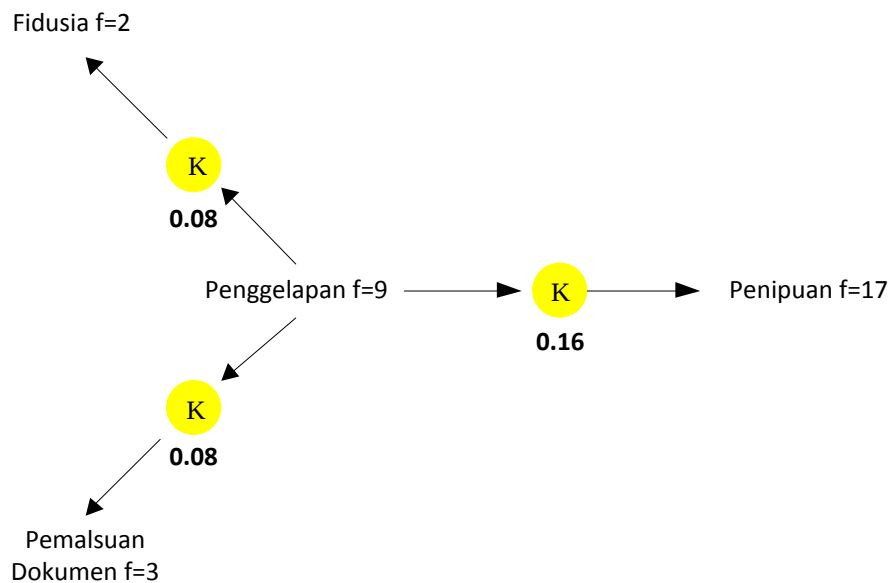
Gambar 2. Visualisasi *graph* pola tindak kejahatan (H artinya lingkaran hijau, O artinya lingkaran oranye)

Pada Gambar 2 diatas, warna lingkaran menunjukkan nilai *support*. Dalam penelitian ini, nilai *support* dibagi menjadi 4 (empat) nilai yang digambarkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Pembagian ukuran lingkaran

No.	Support	Lingkaran
1	0,01 - 0,25	Hijau (H)
2	0,26 - 0,5	Kuning (K)
3	0,51 - 0,75	Oranye (O)
4	0,76 - 1	Merah (M)

Ketika aturan asosiasi yang dihasilkan banyak, model visualisasi *graph* pada Gambar 2 menjadi kompleks dan sulit untuk dimengerti. Pada penelitian ini diterapkan mekanisme *filtering* yang memungkinkan pengguna untuk memilih aturan asosiasi pada jenis kejahatan tertentu saja dengan melakukan *double click* pada kejahatan yang diinginkan. Misalnya, jika dipilih penggelapan maka visualisasi hanya menampilkan visualisasi dari aturan yang mengandung *antecedent* kejahatan penggelapan saja seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3. Proses *filtering* juga mengubah nilai *support* dan frekuensi sesuai dengan visualisasi baru yang ditampilkan. Mekanisme *zooming* juga diterapkan untuk mempermudah navigasi dan melihat area terpilih yang dirasa menarik.



Gambar 3. Filter visualisasi *graph* kejahatan penggelapan (K artinya lingkaran kuning)

Berdasarkan visualisasi *graph* pada Gambar 3 terlihat bahwa jika seseorang melakukan penggelapan maka seseorang kemungkinan juga melakukan penipuan, pemalsuan dokumen atau fidusia dengan nilai *support* antara 0,26 sampai 0,5. Nilai *f* merupakan frekuensi tindak kejahatan dari data yang mengandung kejahatan yang ada pada visualisasi. Dari Gambar 2 juga dapat diketahui tindak kejahatan yang memiliki kemungkinan terbesar untuk terjadi adalah tindak kejahatan penipuan yang disertai dengan pelanggaran informasi dan transaksi elektronik dengan nilai *support* 0,52.

Informasi yang didapat dari visualisasi *graph* pada Gambar 2 dan Gambar 3 dapat dijadikan acuan bagi kepolisian dalam rangka mencegah terjadinya tindak kejahatan serupa yang mungkin dapat terjadi kembali sehingga dapat lebih meningkatkan keamanan masyarakat.

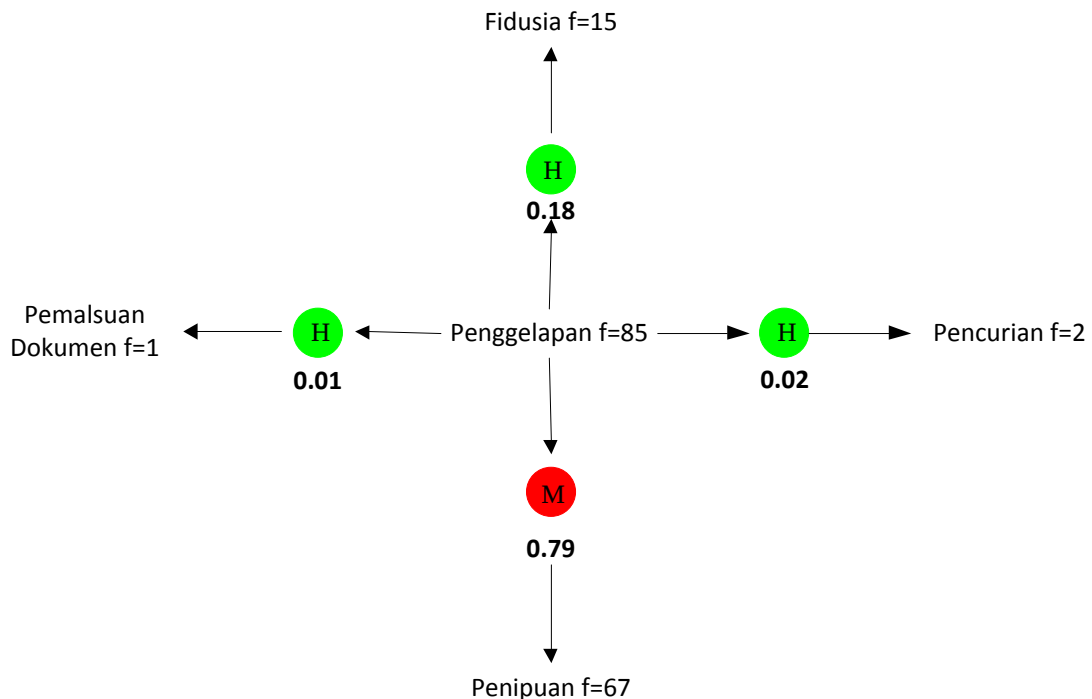
3. Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan beberapa kali uji coba, ditemukan beberapa poin yang menarik baik mengenai pola kejahatan maupun algoritma yang digunakan. Penjelasan lebih rinci dijabarkan dalam poin-poin di bawah ini.

3.1 Analisis Pola Pengaruh

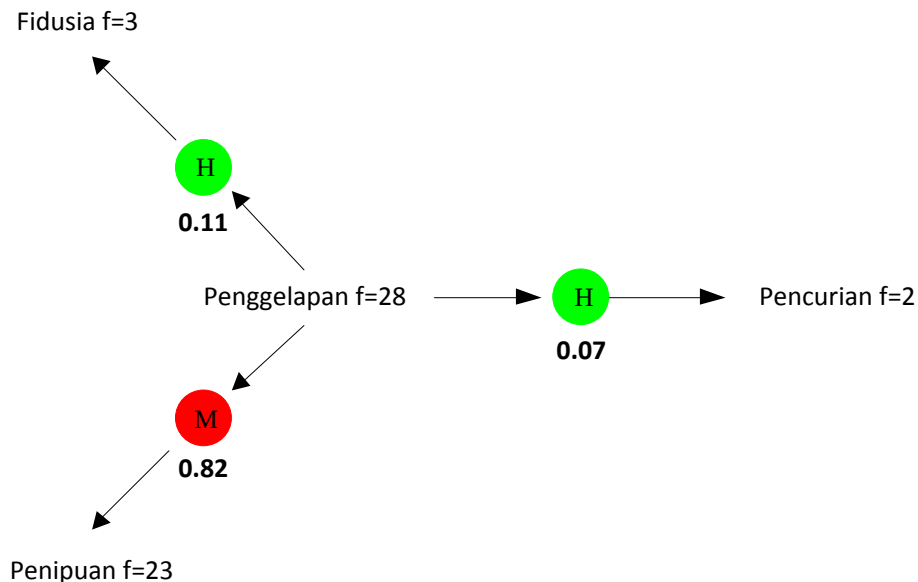
Setelah dilakukan pengembangan aplikasi menggunakan bahasa pemrograman *java* dan menggunakan *database mysql* sebagai penyimpanan data, selanjutnya dilakukan percobaan untuk mengetahui apakah metode *association rule mining* dapat digunakan pada data kriminal Daerah Istimewa Yogyakarta. Data yang digunakan sejumlah 401 kasus dengan minimal dua kejahatan yang dilakukan pada masing-masing kasus. Hasil percobaan dengan *minsup* > 0,54 dan *minconf* > 0,82 tidak menghasilkan *rule*. Dipilih nilai *minsup* 0,54 dan *minconf* 0,82 karena merupakan batas atas yang mampu menghasilkan *rule*. Sedangkan batas bawah yang ditetapkan untuk menghasilkan *rule* adalah nilai *minsup* 0,01 dan *minconf* 0,01.

Salah satu contoh pengujian dilakukan dengan memberikan *minsup* 0,02 dan *minconf* 0,02 pada data kejahatan di seluruh wilayah Yogyakarta pada tahun 2013, 2014, dan 2015 untuk melihat perbedaan pola diantara ketiganya. Pada tahun 2013 dihasilkan 22 *rules*, Pada tahun 2014 dihasilkan 20 *rules* sedangkan pada tahun 2015 dihasilkan 30 *rules*. Selanjutnya masing-masing *rules* yang dihasilkan divisualisasikan dengan memilih filter penggelapan untuk melihat perbedaan pola kejahatan dengan *antecedent* penggelapan pada ketiga tahun tersebut. Ketiga visualisasi tersebut diperlihatkan pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6.



Gambar 4. Visualisasi pengujian minsup 0,02 minconf 0,02 Yogyakarta 2013 filter penggelapan (H artinya lingkaran hijau, M artinya lingkaran merah)

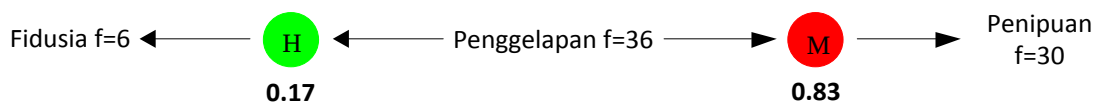
Pada Gambar 4 terlihat pola kejahatan dengan *antecedent* penggelapan untuk data dengan wilayah Yogyakarta tahun 2013. Terlihat bahwa jika seseorang melakukan penggelapan maka seseorang kemungkinan juga melakukan penipuan dengan nilai pendukung 0,79, pemalsuan dokumen dengan nilai pendukung 0,01, fidusia dengan nilai pendukung 0,18 atau pencurian dengan nilai pendukung 0,02.



Gambar 5. Visualisasi pengujian minsup 0,02 minconf 0,02 Yogyakarta 2014 filter penggelapan (H artinya lingkaran hijau, M artinya lingkaran merah)

Pada Gambar 5 terlihat pola kejahatan dengan *antecedent* penggelapan untuk data dengan wilayah Yogyakarta tahun 2014. Terlihat bahwa jika seseorang melakukan penggelapan

maka seseorang kemungkinan juga melakukan penipuan dengan nilai pendukung 0,82, fidusia dengan nilai pendukung 0,11 atau pencurian dengan nilai pendukung 0,07.



Gambar 6. Visualisasi pengujian minsup 0,02 minconf 0,02 Yogyakarta 2015 filter penggelapan (H artinya lingkaran hijau, M artinya lingkaran merah)

Pada Gambar 6 terlihat pola kejahatan dengan *antecedent* penggelapan untuk data dengan wilayah Yogyakarta tahun 2015. Terlihat bahwa jika seseorang melakukan penggelapan maka seseorang kemungkinan juga melakukan penipuan dengan nilai pendukung 0,83 atau fidusia dengan nilai pendukung 0,17.

Berdasarkan Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6 terlihat bahwa terjadi peningkatan kasus kejahatan penggelapan yang disertai penipuan meskipun jenis kejahatan lain yang mungkin terjadi berkurang. Peningkatan tersebut yaitu pada tahun 2013 sebesar 79% naik menjadi 82% pada tahun 2014 dan naik 1% pada tahun 2015. Berdasarkan hasil uji coba tersebut, dihasilkan informasi yang sangat berguna bagi kepolisian untuk menindaklanjuti proses pencegahan kriminalitas yang marak terjadi.

Berdasarkan validasi dengan pihak Kepolisian Daerah Istimewa Yogyakarta mengenai sistem yang telah dibuat, *rule* yang dihasilkan sudah dapat menggambarkan kondisi dilapangan. Hal tersebut didukung oleh data-data yang riil. Tindak kejahatan penggelapan disertai penipuan memang merupakan kejahatan yang paling banyak terjadi. Kasusnya pun beragam, yang paling banyak terjadi adalah menggadaikan atau menjual barang yang dipinjam atau disewa. Pengguna juga lebih menyukai visualisasi *graph* dari pada cara penyajian informasi dalam bentuk *rule* karena dirasa lebih mudah untuk melihat gambaran umum hubungan antar tindak kejahatan melalui mekanisme *filtering*.

3.2 Evaluasi Algoritma

Pengujian juga dilakukan dengan membandingkan *rule* yang dihasilkan sistem dengan *tool* WEKA (www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/downloading.html). Tujuan dari perbandingan tersebut adalah untuk melihat jumlah *rule* yang dihasilkan oleh masing-masing sistem sesuai dengan *support* yang diberikan. Adapun perbandingan *rule* yang dihasilkan oleh WEKA dan sistem yang dibuat diperlihatkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Perbandingan rule WEKA dan sistem yang dibuat

<i>Support</i>	<i>Rules Sistem</i>	<i>Rules WEKA</i>
0,53	2	2
0,09	4	2
0,08	6	4
0,03	8	8
0,02	18	12
0,01	32	28

Dari Tabel 11 terlihat perbandingan jumlah *rule* yang dihasilkan antara sistem yang dibuat dengan *tool* WEKA berdasarkan *support* yang diberikan. Terlihat bahwa jumlah *rules* yang dihasilkan pada *support* 0,03 dan 0,53 sama pada kedua sistem, sedangkan pada *support* yang lain WEKA menghasilkan lebih sedikit *rules* dari pada sistem yang dibuat. Perbedaan jumlah *rule* yang dihasilkan dapat dipengaruhi oleh pembulatan pada perhitungan *support* dan

confidence. Pada sistem yang dibuat dilakukan pembulatan setengah ke atas dengan perintah `ROUND_HALF_UP` pada *Java* dan pembulatan dilakukan pada desimal ke-3.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan serangkaian pengujian terhadap sistem yang dibangun terlihat bahwa metode *association rule mining* dan algoritma apriori dapat menemukan pola kejahatan yang dapat digunakan sebagai informasi yang dibutuhkan pihak kepolisian dalam upaya pencegahan tindak kejahatan. Selain itu, visualisasi berbasis *graph* lebih mempermudah pemahaman mengenai pola kejahatan dari pada penyajian dalam bentuk *rule/aturan*. Pada penelitian selanjutnya, perlu dilakukan penambahan data tindak kejahatan dan menentukan nilai *threshold* yang lebih bervariasi untuk mendapatkan *rules* yang lebih banyak sehingga dapat diperoleh informasi yang lebih banyak pula. Penambahan variabel juga diperlukan agar didapatkan pola kejahatan yang lebih rinci.

Daftar Pustaka

- [1] Kartono. *Patologi Sosial*. Jakarta: Raja Grafindo Persada. 1999.
- [2] Soesilo R. *Kitab Undang-Undang Hukum Pidana serta Komentar-Komentar Lengkap Pasal Demi Pasal*. Bogor: Politeia. 1985.
- [3] Fadlina. *Data Mining untuk Analisa Tingkat Kejahatan Jalanan dengan Algoritma Association Rule Metode Apriori (Studi Kasus Di Polsekta Medan Sunggal)*. Informasi dan Teknologi Ilmiah. 2014; 3(1): 144-154.
- [4] Wandu N, Hendrawan RA dan Mukhlason A. *Pengembangan Sistem Rekomendasi Penelusuran Buku dengan Penggalan Association Rule Menggunakan Algoritma Apriori (Studi Kasus Badan Perpustakaan dan Kearsipan Provinsi Jawa Timur)*. Jurnal Teknik POMITS. 2012; 1(1): 1-5.
- [5] Tampubolon K, Saragih H dan Reza B. *Implementasi Data Mining Algoritma Apriori pada Sistem Persediaan Alat-Alat Kesehatan*. Informasi dan Teknologi Ilmiah. 2013;1(1): 93-106.
- [6] Pereira BL dan Brandao WC. *ARCA: Mining Crime Patterns Using Association Rules*. 11th International Conference Applied Computing. Porto. 2014: 159-165.
- [7] Hahsler M dan Chelluboina S. *Visualizing Association Rules: Introduction to the R-extension Package arulesViz*. Southern Methodist University. 2011.
- [8] Sekhavat YA dan Hoeber O. *Visualizing Association Rules using Linked Matrix Graph and Detail Views*. International Journal of Intelligence Science. 2013;3:34-49.
- [9] Tan P, Steinbach M dan Kumar V. *Introduction to Data Mining*. Boston: Addison-Wesley. 2006.

Pemodelan Proses Pemilihan Rute pada Protokol Babel dengan *Activity Diagram* dan *Transition System*

Vittalis Ayu

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma,
Yogyakarta, Indonesia
e-mail: vittalis.ayu@usd.ac.id

Abstract

Babel Routing Protocol was designed by Juliuz Chrobozcek and its written specification was published in RFC 6126 in April 2014. Babel is one of distance vector routing protocols that has its own distinctive features. Although it sends updates periodically to its neighbours, it also sends triggered updates whenever it detects its neighbour's changes. The changes can include broken links and new link detections. Babel route selection process is also unique, because there are feasibility condition requirements to ensure that the routing loop does not exist during the routing process. Unified Modelling Language (UML) is a modelling language widely used in software engineering. Its popularity is based on its capability to express and describe different aspects of a software. Activity diagram is one of the UML models to describe the flow activity of a software execution. It answers and explains situations like the different states that the flow can reach and the prerequisite to reach the next states. On the other hand, transition systems describe the transition state of the running software. When a software is executed, we have to keep track of the state of the software. We need to describe how state can jump from one to another state and what requirements to do the transition from one state to another one. It will be helpful in the debugging process later when some errors occur. However, the transition system can be derived from the activity diagram that has described the software flow. This research is conducted to give more understanding about the flow of the route selection process in Babel Routing Protocol and describe the flow in the activity diagram and further define it with a transition system.

Keywords: babel, uml, transition system, routing protocol

1. Pendahuluan

Optimisasi dan inovasi untuk mekanisme perutean data terus dilakukan baik secara *hardware* maupun *software* untuk mempercepat pengiriman paket dari sumber ke tujuan. Salah satu kreasi modifikasi yang dilakukan adalah dengan menyusun protokol routing baru yang diyakini mampu memberikan performa yang lebih daripada pendahulunya. Protokol routing merupakan suatu peraturan tentang tata cara pertukaran informasi yang dilakukan oleh perangkat jaringan. Contoh dari protokol routing antara lain adalah protokol routing *Optimized Link State Routing Protocol* (OLSR) [1], *Ad-Hoc On Demand Distance Vector* (AODV) [2], *Border Gateway Protocol* (BGP) [3], *Routing Information Protocol* (RIP) [4], *Open Shortest Path First* (OSPF) [5], *Enhanced Interior Gateway Routing Protocol* (EIGRP) [6], *Destination-Sequenced Distance Vector* (DSDV) [7], *Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking* (BATMAN) [8], dan Babel [9]. Protokol routing terbagi menjadi dua kelompok berdasarkan cara penyampaian informasinya yaitu protokol routing berbasis *distance vector* dan protokol routing berbasis *link state*. Protokol routing berbasis *distance vector* menyampaikan informasinya hanya ke router tetangganya saja dan mendapatkan informasi tentang router lain juga hanya melalui router tetangganya saja sedangkan protokol routing berbasis *link state* menyampaikan informasinya ke seluruh router dalam jaringan tersebut dan mendapatkan informasi dari semua router di jaringan tersebut. AODV, BGP, EIGRP, dan DSDV merupakan contoh protokol routing berbasis *distance vector* sedangkan OLSR dan OSPF

merupakan contoh protokol routing berbasis *link state*. Babel merupakan protokol routing yang pembentukannya terinspirasi dari mekanisme protokol routing OLSR, DSDV, AODV dan EIGRP. *Routing loop* merupakan salah satu masalah yang terjadi saat penyebaran informasi routing ke router yang lain. Ketika ada jalur antar router yang putus, maka informasi tentang terputusnya jalur ini harus disebarkan ke seluruh router agar semua router tidak memakai jalur yang putus tersebut. Jika peralihan rutenya terlambat, maka data yang menuju ke jalur yang putus akan selalu berputar-putar di sekitar jalur yang putus. Penelitian yang dilakukan oleh Abolhasan [10] memberikan hasil bahwa protokol routing Babel memiliki keunggulan dalam *recovery time* setelah ada jalur yang putus dibandingkan dengan protokol routing Batman dan OLSR. Babel memiliki beberapa mekanisme untuk menjamin bahwa *routing loop* tidak akan terjadi dan mempercepat terjadinya konvergensi dengan memanfaatkan mekanisme pemilihan rute yang dimilikinya [9]. Pemahaman tentang mekanisme proses pemilihan rute pada Babel perlu dilakukan untuk mendalami proses apa saja yang terjadi di dalamnya.

Transition systems merupakan suatu model untuk menjelaskan perilaku dari sebuah sistem. Penjelasan yang diperoleh dengan *transition diagram* diharapkan memberikan deskripsi mengenai syarat yang harus dipenuhi untuk berpindah dari satu *state* ke *state* lainnya. *Activity diagram* yang merupakan bagian dari *Unified Modelling Language* adalah salah satu *tools* yang bisa kita gunakan untuk memberikan pemahaman aktivitas apa saja yang terjadi pada proses pemilihan rute, pilihan yang ada, dan letak perulangan yang dapat terjadi [11]. *Activity diagram* juga digunakan dalam penelitian yang dilakukan oleh Thramboulidis untuk menjelaskan desain dari *Transmission Control Protocol* (TCP) [12].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini memodelkan proses pemilihan rute pada protokol routing Babel akan dengan dua cara yaitu pemodelan dengan *activity diagram* dan pemodelan dengan *transition system*.

2.1. Transition System

Transition system merupakan suatu graf berarah yang terdiri dari *state* dan *edge*. *State* memberikan informasi tentang keadaan sistem pada waktu tertentu [13]. Misalnya pada suatu sistem lampu lalu lintas, maka *state* sekarang adalah kondisi bahwa lampu lalu lintas berwarna hijau menyala, lampu merah tidak menyala, dan lampu kuning tidak menyala. *Edge* memberikan gambaran bagaimana *state* dapat berubah menjadi *state* lainnya. *Edge* menjelaskan transisi *state* yang terjadi di dalam sebuah sistem. Misalnya ketika pada sistem lampu lalu lintas, *edge* menjelaskan bahwa untuk berubah dari *state* (lampu hijau menyala, lampu kuning tidak menyala, lampu merah tidak menyala) ke *state* (lampu hijau tidak menyala, lampu kuning menyala, lampu merah tidak menyala) adalah *constraint* waktu 20 detik. Setelah 20 detik, *state* (lampu hijau menyala, lampu kuning tidak menyala, dan lampu merah tidak menyala) akan berubah ke *state* (lampu kuning menyala, lampu merah tidak menyala, lampu hijau tidak menyala).

2.2. Activity Diagram

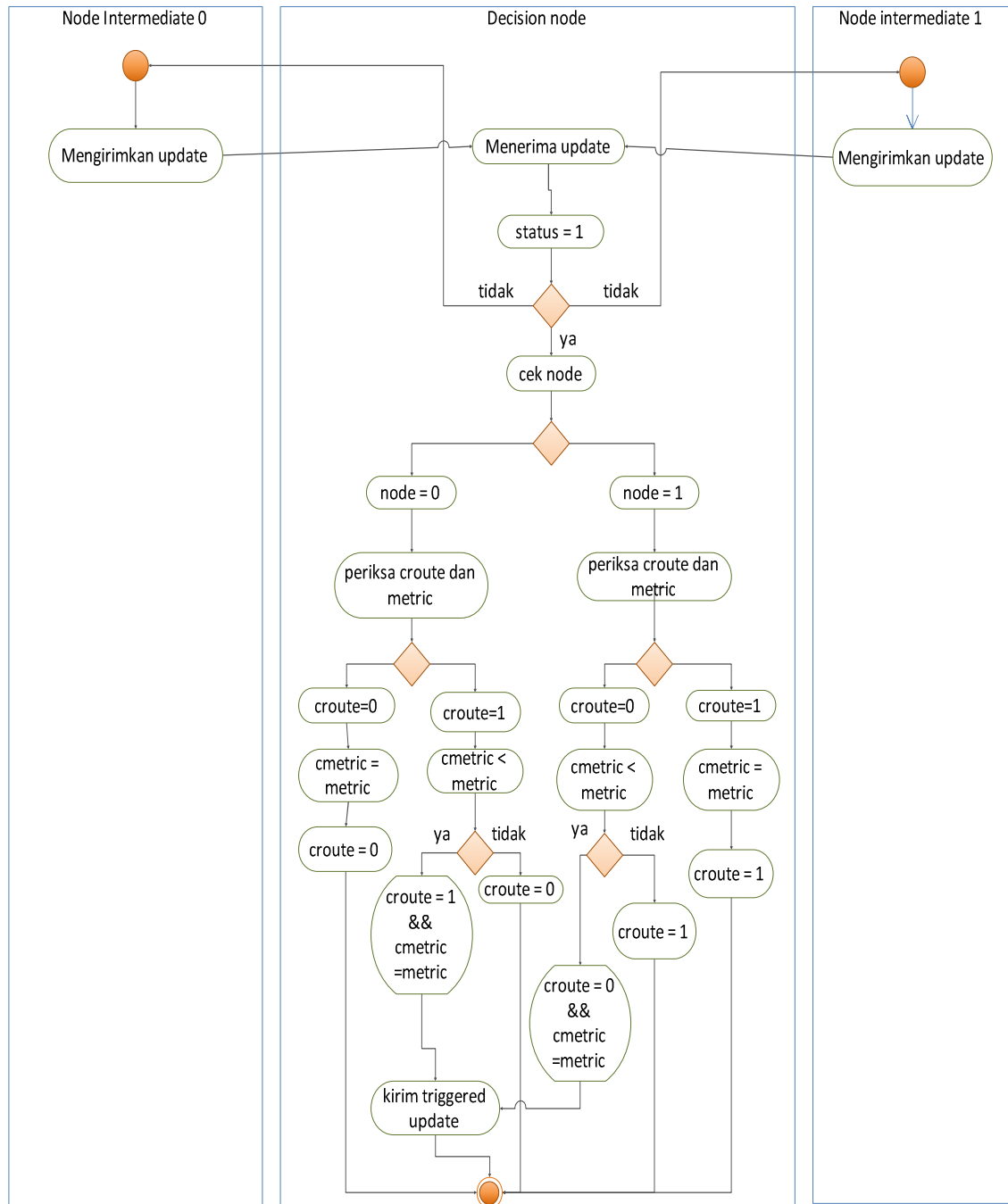
Activity diagram merupakan diagram yang mampu menjelaskan secara prosedural alur proses dari sebuah sistem [11]. Dalam diagram ini dimungkinkan untuk mengevaluasi kemungkinan adanya lebih dari satu jalur yang terbentuk dan berjalan secara bersamaan. Penggambaran dari *activity diagram* dimulai dari *initial node* hingga berakhir di *end node*. Yang dapat menjadi catatan bahwa *initial node* dalam sebuah *activity diagram* diperbolehkan lebih dari satu. Hal ini dilakukan untuk mengakomodasi jika sistem yang dimodelkan memiliki lebih dari satu input.

3. Pemodelan

Asumsi topologi: topologi jaringan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan sub-topologi dari penelitian Jonglez [14]. Topologi jaringan terdiri dari satu node sumber, node *intermediate* 0, node *intermediate* 1, dan satu node tujuan. Node *intermediate* merupakan node yang berada diantara node sumber dan node tujuan. Node *intermediate* 0 dan node *intermediate* 1 masing masing memiliki jalur menuju node tujuan. Kedua node *intermediate* ini masing-masing mengirimkan paket *update* ke tetangganya termasuk ke node sumber. Node sumber disebut juga sebagai *decision* node karena setelah mendapatkan paket *update* dari node *intermediate* 0 dan node *intermediate* 1, node sumber akan memutuskan jalur paket yang dikirimkannya apakah akan melalui node *intermediate* 0 atau node *intermediate* 1. Pada pemodelan protokol routing Babel digunakan sebelas *state* untuk mengabstraksikan sistem. Perpindahan *state* dari proses pemilihan rute pada protokol routing Babel menunjukkan adanya dependensi. Contohnya adalah paket *update* yang diterima akan dihitung *metric*-nya jika *update*-nya adalah *feasible*. Jika *update*-nya tidak *feasible*, maka paket *update* tersebut akan diabaikan.

3.1. Pemodelan dengan *activity diagram* untuk proses pemilihan rute protokol routing Babel

Gambar 1 merupakan urutan proses yang terjadi pada proses pemilihan rute pada protokol routing Babel. Proses ini melibatkan dua *intermediate node* dan satu *decision node*. *Intermediate node* merupakan node tetangga dari *decision node*. *Decision node* merupakan node pengambil keputusan lewat node mana paket akan diteruskan. Secara detail, proses ini dimulai dengan *intermediate node* mengirimkan paket *update* ke *decision node*. *Decision node* akan menerima paket *update* dan akan memeriksa status dari *update* yang diterima. Jika status=0 maka *update*-nya tidak *feasible*. Jika paket tidak *feasible*, maka *update* akan diabaikan dan akan menunggu paket *update* selanjutnya. Jika status=1, maka *update* *feasible*. Jika paket *feasible*, maka akan diteruskan untuk mengecek isi *update*. Periksa apakah paket *update* memiliki jalur ke node tujuan lewat node *intermediate* 0 atau node *intermediate* 1. Jika node *intermediate* memiliki jalur ke node tujuan, maka periksa rute yang sekarang dipakai untuk meneruskan paket ke tujuan catat sebagai *current route*. Jika rute yang sekarang dipakai untuk meneruskan paket ke node tujuan adalah rute yang melewati node *intermediate* 0 maka set *current route*=0 begitu pula jika rute yang sekarang dipakai untuk meneruskan paket ke node tujuan adalah rute yang melewati node *intermediate* 1, maka set *current route*=1. Kemudian kita periksa *metric* yang dimiliki oleh *current route*. *Metric* ini disebut sebagai *cmetric*. Langkah berikutnya kita kombinasikan beberapa hal yang sudah kita periksa tadi yaitu node *intermediate*, *current route*, *cmetric*, dan *metric* untuk menentukan apakah rute berubah dan berapa *metric* rute tersebut sekarang. Jika node *intermediate*-nya adalah node *intermediate* 0, *current route*=0 serta *metric* lebih kecil dari *cmetric* maka set *current route* = 0. Boolean *route_change* akan menjadi penanda apakah terjadi perubahan rute dengan adanya indikasi perubahan node *intermediate* sebagai *next hop*. Jika node *intermediate* = 0, *current route* = 1 dan *metric*<*cmetric* maka akan terjadi perubahan rute dari rute yang tadinya melewati node *intermediate* 0 menjadi rute yang melewati node *intermediate* 1 dan akan dikirimkan *triggered update* untuk mengumumkan kepada node lain bahwa ada perubahan rute yang diputuskan oleh *decision node*. Jika node *intermediate* = 0, *current route* = 1 dan *metric*>*cmetric* maka tidak terjadi perubahan rute sehingga *current route* tetap melalui node *intermediate* 1. Jika node *intermediate* = 1, *current route* = 0 dan *metric*>*cmetric* maka akan terjadi perubahan rute dari rute melewati node *intermediate* 1 ke rute yang melewati node *intermediate* 0 sehingga *current route* = 0. Jika node *intermediate* = 1, *current route* = 0 dan *metric*<*cmetric* maka tidak ada perubahan rute jadi *current route* = 1. Jika node *intermediate* = 1 dan *current route* = 1 maka *update* nilai *metric* menjadi *cmetric* dan *current route* tidak berubah.



Gambar 1. Activity diagram proses pemilihan rute pada Babel.

3.2. Pemodelan dengan *transition system* untuk proses pemilihan rute protokol routing Babel

Transition system direpresentasikan dengan *state* awal, *state* tujuan, *guard*, dan aksi. Pada pemodelan protokol routing Babel, penulis menggunakan sebelas *state* untuk mengabstraksikan sistem dalam model berhingga yaitu $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}$, dan S_{11} . Perpindahan *state* dari proses pemilihan rute pada protokol routing Babel menunjukkan adanya dependensi. Contohnya adalah paket *update* yang diterima akan dihitung *metric*-nya jika *update*-nya adalah *feasible*. Jika *update*-nya tidak *feasible*, maka paket *update* tersebut akan diabaikan. Transisi antara satu *state* dengan *state* lainnya dikatakan sebagai transisi yang kondisional karena untuk mencapai suatu *state* tertentu, syarat tertentu harus dipenuhi. Transisi tersebut dinamakan sebagai *conditional transition system*. *Conditional transition*

system yang dijelaskan dalam buku *Principles of Model Checking* [13] dapat dijabarkan dalam *Transition System* (1) sebagai berikut:

$$S_i \xrightarrow{g:\alpha} S'_i \quad (1)$$

dengan, S_i merupakan *state* awal, g disebut *guard* yaitu syarat yang harus dipenuhi oleh suatu transisi, α merupakan aksi yang dilakukan ketika *guard* terpenuhi, S'_i merupakan *state* tujuan.

Perilaku dari transisi sistem yang ditunjukkan dalam diagram state pada Gambar 2 adalah sebagai berikut: Sistem transisi bermula dari suatu *state* awal S_i dan bertransisi ke *state* S'_i dengan syarat g . Jika syarat g terpenuhi, maka akan dieksekusi suatu aksi.

Penjelasan proses pemilihan rute pada protokol routing Babel dapat dijabarkan dalam beberapa *transition system* sebagai berikut:

1. S_0 merupakan *state* awal. Ketika ada paket *update* yang datang, maka *update* tersebut akan diperiksa terlebih dulu darimana *original node*-nya (*onode*) dan apakah *update* tersebut *feasible* atau tidak. Jika *update* tidak *feasible*, maka *update* akan diabaikan. Jika *update* diabaikan maka tidak ada perubahan *state* sehingga *state* tidak berubah, tetap di S_0 seperti diperlihatkan pada *Transition System* (2) dan (3) berikut:

$$S_0 \xrightarrow{\text{onode}=B \wedge \text{status}=\text{not feasible}:\text{ignoreupdate}} S_0 \quad (2)$$

$$S_0 \xrightarrow{\text{onode}=B \wedge \text{status}=\text{not feasible}:\text{ignoreupdate}} S_0 \quad (3)$$

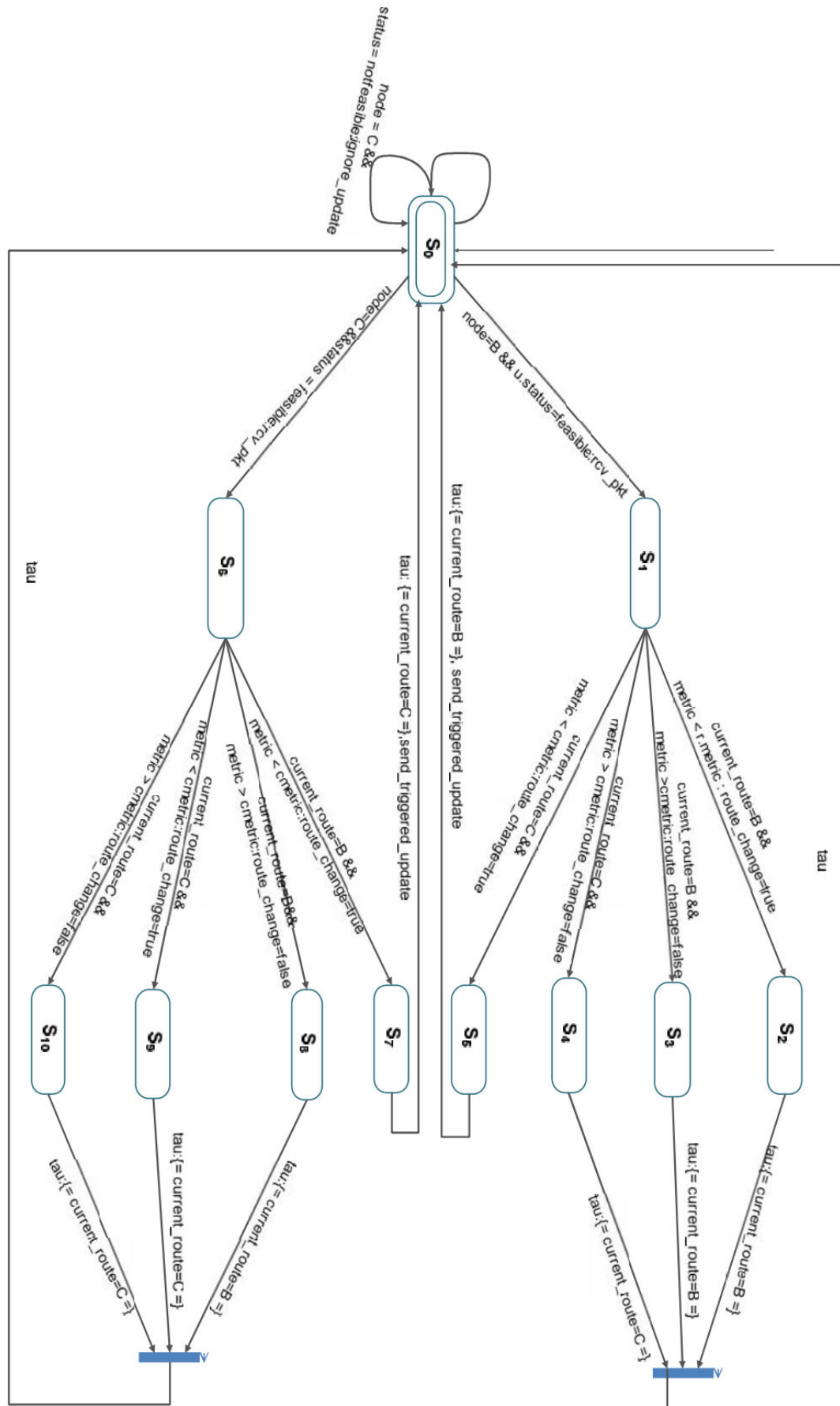
2. Pada *Transition System* (4) dan (5) diperlihatkan jika *update* tersebut *feasible* maka *state* akan berpindah tergantung pada *original node*. Apabila *original node* dari *update* yang *feasible* itu adalah *node intermediate* 0 (B), maka akan terjadi perpindahan ke *state* S_2 . Namun jika *original node* dari *update* yang *feasible* itu adalah *node intermediate* 1 (C), maka akan terjadi perpindahan ke *state* S_6 .

$$S_0 \xrightarrow{\text{onode}=B \wedge \text{status}=\text{feasible}:\tau} S_1 \quad (4)$$

$$S_0 \xrightarrow{\text{onode}=C \wedge \text{status}=\text{feasible}:\tau} S_6 \quad (5)$$

3. Jika sudah mencapai *state* S_1 , maka dapat dipastikan bahwa paket *update* tersebut *feasible*. Untuk selanjutnya diperiksa *current route* apakah lewat B ataukah C dan dilakukan perbandingan antara *advertised metric* yang dibawa oleh paket *update* dengan *current metric* dari *current route*.
 - a. Apabila *current route* adalah B dan *advertised metric*-nya kurang dari *current metric* maka syarat terjadinya perubahan rute terpenuhi, sehingga terjadi aksi *route change = true* dan *state* berpindah ke *state* S_2 . Hal ini ditunjukkan dengan *Transition System* (6) berikut:

$$S_1 \xrightarrow{\text{route}=B \wedge \text{adv1metric} < \text{cmetric}:\text{routechange}=\text{true}} S_2 \quad (6)$$



Gambar 2. Diagram stateperilaku dari transisi sistem

Pemodelan Proses Pemilihan Rute pada Protokol Babel dengan(Vitalis Ayu)

Apabila *current route* adalah B dan *advertised metric*-nya lebih dari *current metric* maka dikerjakan aksi mengubah nilai *route change* = *false* dan *state* berpindah ke *state* S_3 . Hal ini ditunjukkan dengan *Transition System* (7) berikut:

$$S_1 \xrightarrow{croute=B \wedge adv1metric > cmetric: routechange=false} S_3 \quad (7)$$

- b. Apabila *current route* adalah C dan *advertised metric*-nya kurang dari *current metric* maka syarat terjadinya perubahan rute terpenuhi, sehingga terjadi aksi mengubah nilai *route change* menjadi *true* dan *state* berpindah ke *state* S_5 . Hal ini ditunjukkan dengan *Transition System* (8) berikut:

$$S_1 \xrightarrow{croute=C \wedge adv1metric < cmetric: routechange=true} S_5 \quad (8)$$

- c. Apabila *current route* adalah C dan *advertised metric*-nya lebih dari *current metric* maka dikerjakan aksi mengubah nilai *route change* menjadi 0 dan *state* berpindah ke *state* S_4 . Hal ini ditunjukkan dengan *Transition System* (9) berikut:

$$S_1 \xrightarrow{croute=C \wedge adv1metric > cmetric: routechange=false} S_4 \quad (9)$$

4. Ketika kita mencapai *state* S_2 , S_3 , dan S_4 , tidak ada *guard* yang harus dipenuhi maka dengan otomatis kita akan berpindah ke *state* berikutnya yaitu kembali ke *state* S_0 dan tidak ada aksi yang dilakukan pada saat perpindahan ke *state* S_0 . Hal ini ditunjukkan dengan *Transition System* (10), (11), dan (12) berikut:

$$S_2 \xrightarrow{true: croute=B} S_0 \quad (10)$$

$$S_3 \xrightarrow{true: croute=B} S_0 \quad (11)$$

$$S_4 \xrightarrow{true: croute=C} S_0 \quad (12)$$

5. Ketika kita mencapai *state* S_5 , tidak ada *guard* yang harus dipenuhi maka secara otomatis kita akan berpindah ke *state* berikutnya yaitu kembali *state* S_0 dan ada aksi yang harus dilakukan sembari melakukan perpindahan ke *state* S_0 yaitu mengirim *triggered update*. Hal ini ditunjukkan dengan *Transition System* (13) berikut:

$$S_5 \xrightarrow{true: croute=B, sendtriggeredupdate} S_0 \quad (13)$$

6. Jika sudah mencapai *state* S_6 , maka dapat dipastikan bahwa paket *update* tersebut *feasible*. Untuk selanjutnya diperiksa *current route* apakah B ataukah C dan dilakukan perbandingan antara *advertised metric* yang dibawa oleh paket *update* dengan *current metric* dari *current route*.

- a. Apabila *current route* adalah B dan *advertised metric*-nya kurang dari *current metric* maka syarat terjadinya perubahan rute terpenuhi, sehingga terjadi aksi mengubah nilai *route change* menjadi *true* dan *state* berpindah ke *state* S_7 . Hal ini ditunjukkan dengan *Transition System* (14) berikut:

$$S_6 \xrightarrow{croute=B \wedge adv2metric < cmetric: routechange=true} S_7 \quad (14)$$

- b. Apabila *current route* adalah B dan *advertised metric*-nya lebih dari *current metric* maka *route change=false* dan *state* berpindah ke *state* S_8 . Hal ini ditunjukkan dengan *Transition System* (15) berikut:

$$S_6 \xrightarrow{croute=B \wedge adv2metric > cmetric: routechange=false} S_8 \quad (15)$$

- c. Apabila *current route* adalah C dan *advertised metric*-nya kurang dari *current metric* maka syarat terjadinya perubahan rute terpenuhi, sehingga *route change=true* dan *state* berpindah ke *state* S_9 . Hal ini ditunjukkan dengan *Transition System* (16) berikut:

$$S_6 \xrightarrow{croute=C \wedge adv2metric < cmetric: routechange=true} S_9 \quad (16)$$

- d. Apabila *current route* adalah C dan *advertised metric*-nya lebih dari *current metric* maka dikerjakan aksi mengubah nilai *route change* menjadi 0 dan *state* berpindah ke *state* S_{10} . Hal ini ditunjukkan dengan *Transition System* (17) berikut:

$$S_6 \xrightarrow{croute=C \wedge adv2metric > cmetric: routechange=true} S_{10} \quad (17)$$

7. Ketika kita mencapai *state* S_8 , S_9 , dan S_{10} , tidak ada *guard* yang harus dipenuhi maka dengan otomatis kita akan berpindah ke *state* berikutnya yaitu kembali ke *state* S_0 dan tidak ada aksi yang dilakukan pada saat perpindahan ke *state* S_0 . Hal ini ditunjukkan dengan *Transition System* (18), (19), dan (20) berikut:

$$S_8 \xrightarrow{true: croute=B} S_0 \quad (18)$$

$$S_9 \xrightarrow{true: croute=C} S_0 \quad (19)$$

$$S_{10} \xrightarrow{true: croute=C} S_0 \quad (20)$$

8. Ketika kita mencapai *state* S_7 , tidak ada *guard* yang harus dipenuhi maka secara otomatis kita akan berpindah ke *state* berikutnya yaitu kembali *state* S_0 dan ada aksi yang harus dilakukan sembari melakukan perpindahan ke *state* S_0 yaitu mengirim *triggered update*. Hal ini ditunjukkan dengan *Transition System* (21) berikut:

$$S_7 \xrightarrow{true: croute=C, sendtriggerdeupdate} S_0 \quad (21)$$

5. Kesimpulan

Deskripsi menggunakan *activity diagram* dapat menggambarkan alur proses pemilihan rute dari proses pemilihan rute dari protokol routing Babel. Penggunaan *transition system* dapat lebih merunut atau melihat satu persatu kemungkinan *state* yang dapat dilalui melalui pelacakan secara berurut. Penelitian ini masih hanya menggunakan input dari dua *intermediate node*, satu *decision node*, dan syarat perubahan rute adalah nilai *metric* saja. Pada penelitian selanjutnya bisa ditambahkan *node intermediate*. Penelitian selanjutnya juga bisa menambahkan syarat lain sebagai syarat perubahan rutenya.

Daftar Pustaka

- [1] Jacquet P, Clausen T. *Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)*. RFC 3626. 2003.
- [2] Perkins C, Belding-Royer E. *Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing*. RFC 3561. Juli 2003.
- [3] Loughheed K, Rekhter Y. *Border Gateway Protocol (BGP)*. RFC 1105. Juni 1989.
- [4] Hedrick C. *Routing Information Protocol (RIP)*. RFC 1058. Juni 1988.
- [5] Moy J. *OSPF Version 2*. RFC 1247. Juli 1991.
- [6] Savage D, Ng J, Moore S, Slice D, Paluch P and White R. *Cisco's Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP)*. RFC 7868. Mei 2016.
- [7] Perkins Charles E, Bhagwat Pravin. *Highly dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector routing (DSDV) for mobile computers*. In Proceedings of the conference on Communications architectures, protocols and applications (SIGCOMM '94). 1994. ACM. New York, NY, USA.
- [8] Kulla Elis, Hiyama Masahiro, Ikeda Makoto, Barolli Leonard. *Performance comparison of OLSR and BATMAN routing protocols by a MANET testbed in stairs environment*. In Proceedings of Computers & Mathematics with Applications, Volume 63, Issue 2, 2012: 339-349.
- [9] Chroboczek J. *The Babel Routing Protocol*. RFC 6126. April 2011.
- [10] Abolhasan M, Hagelstein B, Wang J. *Real-world Performance of Current Proactive Multi-hop Mesh Protocols*. In Proceedings of the 15th Asia-Pacific Conference on Communications, APCC. 2009. IEEE Press, Piscataway, NJ, USA.
- [11] Seidl M, Scholz M, Huimer C, Kappel G. *UML@Classroom: An Introduction to Object-Oriented Modeling*. 2015.
- [12] Thramboulidis K, Mikroyannidis A. *Using UML for the Design of Communication Protocols: The TCP case study*. International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks, SoftCOM. Januari 2003.
- [13] Baier C, Katoen J. *Principles of Model Checking*. 2008. MIT Press. London, England.
- [14] Jonglez B, Boutier M, Chroboczek J. *A delay-based routing metric*. Computing Research Repository (CoRR). arXiv:1403.3488v1. Maret 2014.

KETENTUAN PENULISAN

- **Naskah** ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris menggunakan huruf Calibri 11 pt dengan spasi tunggal dan *layout* satu kolom, kecuali untuk judul, *abstract*, gambar, dan tabel. Ukuran kertas A4 dengan margin 3,5-2,5-2,5-2,5 cm (kiri-atas-kanan-bawah). Panjang naskah maksimal 12 halaman. Kelebihan halaman akan dikenakan biaya Rp 25.000,- per halaman.
- **Judul** ditulis dengan huruf Calibri 16 pt dicetak tebal dengan huruf pertama dicetak kapital (kecuali kata sambung) maksimal 14 kata.
- **Identitas** Penulis harus dicantumkan dibawah judul meliputi nama lengkap (tanpa gelar), institusi, alamat lengkap institusi dan e-mail menggunakan huruf Calibri 11 pt
- **Abstract** harus ada dengan panjang maksimal 100 - 200 kata ditulis dalam bahasa, spasi tunggal, menggunakan huruf Calibri 10 (*Italic*). Kata kunci (*Keywords*) harus ada terdiri dari 3 - 5 kata/frase dan di bawah *abstract*.
- **Gambar dan tabel** yang diacu harus mencantumkan rujukannya. Gambar diberi nomor dan keterangan dan ditulis di bawahnya, sedangkan Nomor dan keterangan tabel ditulis di atasnya. Keterangan Gambar dan tabel ditulis menggunakan huruf Calibri 10 pt.

- **Format isi naskah**

Naskah hasil penelitian harus berisi:

1. Pendahuluan (dapat berupa masalah atau tujuan)
2. Metode Penelitian
3. Hasil dan Pembahasan
4. Kesimpulan
5. Saran (bila perlu)
6. Daftar Pustaka
7. Ucapan terima kasih (bila perlu)

Naskah non penelitian harus berisi:

1. Pendahuluan
2. Bagian Inti (berisi kupasan, analisis, argumentasi dan pendirian penulis mengenai masalah yang dibicarakan. Banyaknya subbagian disesuaikan dengan kebutuhan penulis)
3. Penutup (kesimpulan)
4. Daftar Pustaka

- **Pengiriman Naskah** dapat dilakukan melalui pos/kurir disertai *softcopy* (format *.doc) ke alamat redaksi atau secara elektronik melalui e-mail dengan menulis surat permohonan pengiriman naskah ke alamat: mediateknika@usd.ac.id. *Template* penulisan naskah dapat diunduh di <http://www.usd.ac.id/mediateknika> atau <http://e-journal.usd.ac.id/index/MediaTeknika>.
- **Daftar Pustaka.** Penulisan daftar pustaka dibedakan menurut sumber yang diacu (buku, jurnal, prosiding, dan *website*). Daftar pustaka yang diacu diurutkan sesuai dengan nomor acuan. Beberapa contoh penulisan Daftar Pustaka:

- [1] El-Bahi A., Inan D. Analysis of a Parallel Double Glass Solar Still with Separate Condenser. *Renewable Energy*. 1999; 17(4): 509-521 (*pada kasus ini Vol. 77, No 4, dan halaman 509-521*).
- [2] Setiawan A, Hamidah I, Sustini E. *Penumbuhan Film Tipis GaN pada Template ZnO dengan Metode MOCVD untuk Aplikasi Optoelektronik*. Prosiding Seminar Nasional VIII Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri. Bandung. 2009; 8: 1-6 (*pada kasus ini, kota : Bandung, tahun : 2009, Vol. 8, page: 1-6*).
- [3] Gandhianto RG, Akbar M, Mi'radj IM, Ma'ruf A. Resource Scheduling in Shored Manufacturing System. *Asia Pasific Industrial & Management System Conference (APIEMS)*. Phuket. 2012: 224-230.
- [4] Smith RL, Herrnan SL. *Electrical Wiring Industrial*. 13'h Edition. New York: Delmar Cengage Learning. 2008: 56-57.
- [5] Smith RL, Herrnan SL. *Electrical Wiring Industrial*. 13'h Edition. New York: Delmar Cengage Learning. 2008.
- [6] Zade F, Talenta A. *Editors. Advanced Fuzzy Control System*. Yogyakarta: UAD Press. 2010.
- [7] Larkin L, Ramage J, Sturlock J. *Bioenergy*. Dalam: Boyle G. *Editors. Renewable Energy*. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press; 2004:106-145.
- [8] Thomsom WT. 1980. *Teori Getaran dengan Penerapan*. Lea Prasetio. Jakarta: Erlangga. 1986.
- [9] Rusdi M. A Novel Fuzzy ARMA Model for Rain Prediction in Surabaya. PhD Thesis. Surabaya: Postgraduate ITS; 2009.
- [10] Ahmad LP, Hooper A. *The Lower Switching Losses Method of Space Vector Modulation*. CN103045489 (Patent). 2007.
- [11] IEEE Standard Association. 1076.3-2009. *IEEE Standard VHDL Synthesis Packages*. New York: IEEE Press; 2009.
- [12] James S, Whales D. *The Framework of Electronic Government*. U.S. Dept. of Information Technology. Report number: 63. 2005.