

ISSN 1412 - 8810
Vol. IX, No. 1, 2010

JURNAL TEKNIK

Diterbitkan oleh
Fakultas Teknik
Universitas Jenderal Achmad Yani

ISSN 1412 - 8810
Vol. IX, No. 1, 2010

JURNAL TEKNIK

Diterbitkan oleh
Fakultas Teknik
Universitas Jenderal Achmad Yani

JURNAL TEKNIK

Vol. IX, No.1, 2010

- Ketua Dewan Editor : Prof. Waspodo, Ir.
- Dewan Redaksi : Prof. Dr. Bambang Sutjiatmo
 Prof. Dr. R. J. Widodo
 Dr. Ing. Ir. Soepono Adi Dwiwanto
 Dr. TMA. Ari Samadhi Ir, M.Sc.
 Sumargo, Ir., M.Sc., Ph.D
 Endang Padminingsih Ir., M.Sc.
 Dr. Ir. Oviyan Patra M.Sc.
- Editor (Redaksi Pelaksana) : Ir. Febrianto Adi Nugroho, MM.
 Cucu Wahyudin, Spt, MT.
 Pawawoi, ST, MT
- Distribusi dan Kesekretariatan : Udin Komarudin, ST.
 Drs. Danang Kunjono

Harga Langganan per Tahun

- Instansi** : Rp. 45.000,-
Pribadi : Rp. 40.000,-

Alamat Penyunting dan Tata Usaha

Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani
 Jl. Jend. Gatot Subroto (Samping PT PINDAD)
 Telp. (022) 7312741; Fax. (022) 7309433

Email : cyu517@yahoo.com

No. Rek. Jurnal Teknik FT Unjani : BRI, 1107-01-001355-50-4

Jurnal Teknik – Diterbitkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani Frekuensi terbit Jurnal Teknik dalam satu volume sebanyak 2 nomor per tahun pada setiap bulan : April dan November. Penerbitan perdana Volume 1 Nomor 1 pada Mei 2002

JURNAL TEKNIK

Vol. IX, No.1, 2010

DAFTAR ISI

Pemanfaatan Fly Ash (Abu Terbang) Batubara untuk Pembuatan Semen Portland Pozzolan Oleh : Ate Romli, ST., MT	1-6
Pengaruh Waktu Penahanan Proses Pengerasan Permukaan <i>Cyaniding</i> Terhadap Laju Difusi Nitrogen Terhadap Struktur Dan Sifat Mekanik Baja Perkakas Assab Xw-42 Oleh : Abrianto Akuan, Ir., MT	7-19
Pengaruh <i>Artificial Aging</i> Terhadap Sifat Mekanik Hasil Lasan Tig Aluminium Seri 6013 T4 Oleh : Martijanti, St., MT	20-29
Sistem Static Inverter Pada Kereta Rel Listrik HOLEC-BN Oleh : Taufik Hidayat	30-36
Klasifikasi Suara Manusia Dengan Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Dan Algoritma Levenberg-Marquadt Oleh : Gunawan Abdillah, S.Si., M.Sc	37-45
Analisis Jaringan Angkutan Kota Di Kota Cimahi Oleh : Ferry Rusgiyanto, Ir., MT	46-56

Pemanfaatan Fly Ash (Abu Terbang) Batubara untuk Pembuatan Semen Portland Pozzolan

Ate Romli

Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Achmad Yani

Abstrak. *Fly ash* (abu terbang) batubara biasanya masih mengandung komponen-komponen/senyawa diantaranya terdiri dari SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO dan sebagian kecilnya adalah unsur-unsur seperti Na_2O , MgO dan K_2O serta pengotor lainnya. Unsur-unsur utama tersebut merupakan bahan Pozzolan, yaitu bahan yang mengandung senyawa silica atau silica alumina, dimana bahan Pozzolan itu sendiri tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, karena mempunyai bentuknya yang halus dan masih mengandung kadar air, maka senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan senyawa kalsium hidroksida pada keadaan temperatur ruangan, dan membentuk senyawa yang memiliki sifat-sifat seperti semen (kalsium silikat dan aluminat hidrat), sehingga *fly ash* tersebut dapat dicampur dengan semen portland menjadi semen portland pozzolan. Tahapan pengerjaan penelitian dilakukan adalah limbah *fly ash* tersebut dimulai dengan proses penggilingan dan pengayakan dengan menggunakan ayakan 270 mesh, kemudian diaktifkan dengan berbagai variasi temperatur pengaktifan yaitu 400°C , 500°C dan 600°C . Setelah diaktifkan, *fly ash* tersebut dicampur dengan semen portland tipe I yang selanjutnya dibuat beton untuk diuji secara mekanis, yaitu dengan kuat tekan. Dari hasil pengujian kuat tekan tersebut, umur beton yang 3 hari, 7 hari dan 28 hari dengan suhu pengaktifan *fly ash* 400°C , memiliki kuat tekan yang tinggi yaitu 148.88 kg/cm^2 , 220 kg/cm^2 dan 260 kg/cm^2 .

Kata kunci: *Fly ash, bahan Pozzolan, semen portland, beton dan kuat tekan*

1 Pendahuluan

Seiring dengan meningkatnya pembangunan saat ini menyebabkan kebutuhan bahan bangunan akan semakin meningkat. Seperti kita ketahui bersama, bahan yang digunakan untuk bangunan terdiri dari bahan-bahan atap, dinding dan lantai. Saat ini bahan-bahan bangunan tersebut sudah terbuat dari semen dan sudah banyak digunakan oleh masyarakat luas. Yang menjadi permasalahannya adalah bagaimana kita dapat membuat bahan-bahan tersebut dengan harga yang relatif murah tanpa mengurangi mutunya.

Penggunaan bahan bakar minyak pada industri semakin meningkat sehingga memerlukan biaya yang sangat tinggi untuk proses produksi, ditambah dengan munculnya kebijakan pemerintah mengenai kenaikan harga BBM maka biaya produksi yang akan ditanggung oleh industri akan semakin tinggi. Sehingga perlu suatu industri mempertimbangkan untuk menggunakan bahan bakar pengganti yang lebih efisien yang dapat menurunkan biaya produksi seperti batubara. Penggunaan batubara sebagai bahan bakar akan menghasilkan limbah seperti abu terbang (*fly ash*) batubara.

Fly ash (abu terbang) batubara mempunyai kandungan silika yang cukup tinggi, sehingga timbul pemikiran kritis untuk menjadikan limbah abu terbang batubara sebagai sumber-

alternatif sebagai bahan tambahan dalam pembuatan semen Portland pozzolan. Pemanfaatan limbah abu terbang tersebut selain dapat mengurangi limbah industri juga dapat dijadikan sumber silika pengganti pasir kuarsa yang persediaannya di alam semakin menipis.

Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk memanfaatkan limbah *fly ash* sebagai bahan pozzolan untuk mengurangi penggunaan semen Portland, mendapatkan temperatur aktivasi fly ash yang baik sebagai bahan pozzolan pada semen portland, dan bagaimana pengaruh penambahan tersebut terhadap kuat mekanis yang diberikan. *Fly Ash* (abu terbang) batubara yang digunakan dalam penelitian berasal dari PT. Garuda Mas Semesta. dan Standar beton yang diteliti memiliki kuat tekan 125 kg/cm² s/d 250 kg/cm² (SNI 15-0302-2004)

2 Tinjauan Pustaka

Abu terbang batubara adalah limbah hasil pembakaran batu bara yang yng mempunyai sifat-sifat fisik diantaranya berbentuk bundar, halus, dan porous. Mutu abu batubara beragam tergantung pada :

- Mutu dan jenis batubara yang digunakan.
- Efisiensi pembakaran dan kehalusan batubara.
- Dimensi tungku pembakaran.
- Sistem penangkapan abu batubara dari pembakaran batubara ini berwarna abu-abu, apabila diambil langsung dari tempat pembakaran batubara, warna ini dapat berubah-ubah sampai ke warna hitam. Warna hitam ini menunjukkan besarnya kadar karbon yang belum terbakar.

Tabel 1 Hasil Pengujian Fly Ash (abu terbang PT Garuda Mas Semesta di daerah Cibodas Leuwigajah Cimahi)
"Sertifikat Pengujian : No. 044-5/BBK/JU/04/2007"

Analisis Kimia (% berat)	Metoda Uji	Hasil Uji
SiO ₂	SNI 15-0449-1989	40.30
Al ₂ O ₃	SNI 15-4936-1998	12.20
Fe ₂ O ₃	SNI 15-2173-1991	2.67
MgO	SNI 15-1569-1989	3.22
Na ₂ O	SNI 15-0449-1989	2.21
Unsur lainnya	-	39.4

2.1 Semen

Menurut SNI No. 15-2049-1994, Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara mengiling terak atau clinker yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis yang digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa gypsum dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Definisi secara umum Semen Portland adalah hydroulis binder yang di buat dengan menggiling halus Clinker Semen Portland dengan menambahkan 4–5 % Gypsum (CaSO₄ . H₂O).

2.2.1 Komposisi dan Sifat Semen

Komposisi semen terdiri atas senyawa-senyawa utama (mineral–mineral potensial) sebagai penyusun semen yang terbentuk dari keempat oksida utama, yaitu:

- a. C_3S : Trikalsium Silikat, $3CaO.SiO_2$. Sifatnya hampir sama dengan sifat semen, yaitu apabila ditambahkan air maka akan menjadi kaku dan dalam beberapa jam saja pasta semen akan mengeras. C_3S menunjang penyusunan kekuatan awal semen tinggi dan menimbulkan panas hidrasi kurang lebih 500 joule/gram. Kandungan C_3S pada Semen Portland bervariasi antara 35% - 55% dan rata-rata 45%.
- b. C_2S : Dikalsium Silikat, $2CaO.SiO_2$. Pada penambahan air segera terjadi reaksi, menyebabkan pasta mengeras dan menimbulkan sedikit panas yaitu 250 joule/gram. Pasta yang mengeras, perkembangan kekuatannya stabil dan lambat pada beberapa minggu, kemudian mencapai kekuatan tekan akhir hampir sama dengan C_3S . Kandungan C_2S pada Semen Portland bervariasi antara 15% - 35% dan rata-rata 25%.
- c. C_3A : Trikalsium Aluminat, $3CaO.Al_2O_3$, disingkat C_3A . Dengan air bereaksi menimbulkan panas hidrasi yang tinggi yaitu ± 850 joule/gram. Perkembangan kekuatan terjadi pada satu sampai dua hari, tetapi sangat rendah. Kandungan C_3A bervariasi antara 7-15%.
- d. C_4AF : Tetra Calcium Alumino Ferrite, $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$. Dengan air bereaksi dengan cepat dan pasta terbentuk dalam beberapa menit, menimbulkan panas hidrasi ± 420 joule/gram. Kandungan C_4AF pada Semen Portland bervariasi antara 5-10% dan rata-rata 8%. Ini mempengaruhi warna abu-abu dari semen. ubah sampai ke warna hitam. Warna hitam ini menunjukkan besarnya kadar karbon yang belum terbakar.

2.3 Pozzolan

Pengertian pozzolan menurut ASTM C 618-96 adalah bahan yang mengandung senyawa silika atau silika dan alumina, walaupun pozzolan tidak mempunyai sifat sementasi, tetapi dengan bentuknya yang halus, dengan adanya air maka akan terjadi reaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu biasa, membentuk senyawa yang memiliki sifat-sifat seperti (kalsium silikat dan kalsium aluminat). Komponen utama pozzolan adalah Silikat (SiO_2).

2.3.1 Jenis Pozzolan

Ada dua jenis pozzolan, yaitu pozzolan alam dan pozzolan buatan.

- a. pozzolan alam adalah:
 1. Tufa
 2. Abu vulkanik tanah diatome (*tress*)
- b. Pozzolan buatan adalah
 1. Semen merah (bata merah/genteng keramik yang digiling);
 2. Gilingan terak dapur tinggi (*slag*);
 3. Fly ash /abu terbang batu bara.

2.3.2 Sifat-Sifat Fisika Semen Portland Pozzolan

- a. Sifat pengerjaan (*Workability*)

Adukan mortar atau beton menggunakan Portland Pozzolan (PPC) memiliki plastisitas yang lebih baik dibandingkan dengan yang menggunakan semen portlan jenis I (PC I)
- b. Waktu Pengikatan
Penambahan Pozzolan pada Semen Portland akan memperpanjang waktu pengikatan. Selisih waktu pengikatan akhir antara Semen Portland dengan Semen Portland Pozzolan menurut SNI 15-2049-94 dan SNI 15-0302-94 sebesar 45 menit

c. Kekuatan Tekan

Dengan penambahan bahan Pozzolan pada Semen Portland, maka akan menurunkan kekuatan awal. Oleh karena pada Semen Portland Pozzolan (PPC) masih terjadi reaksi antara silica aktif dari Pozzolan dengan kalsium hidroksida yang berjalan terus dalam waktu yang lama, maka kekuatan PPC pada umur yang lama akan bisa lebih tinggi dari Semen Portland jenis I (PC I).

d. Proses Hidrasi Semen Portland Pozzolan:

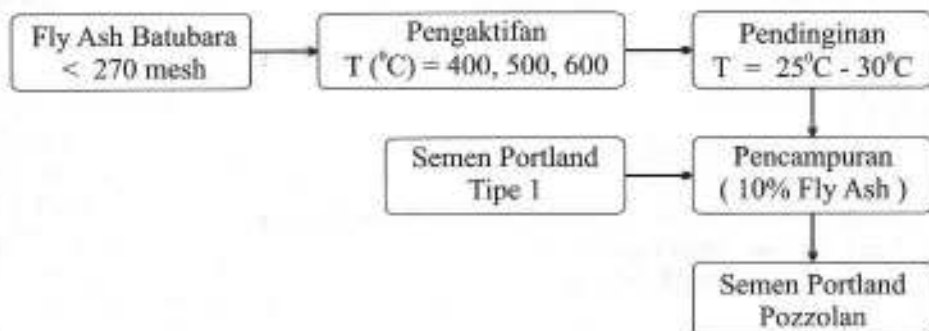
Semen Portland Pozzolan : Semen Portland + Pozzolan

Semen Portland + air \longrightarrow CSH + Ca(OH)_2

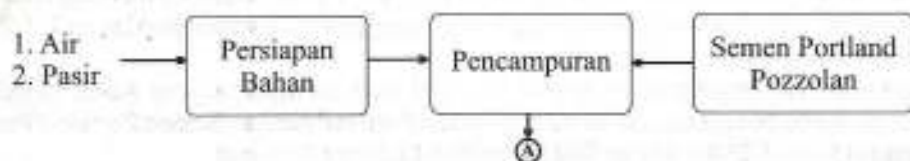
Pozzolan + Ca(OH)_2 + air \longrightarrow CSH + CASH

3 Metodologi Penelitian

3.1 Diagram Alir Penelitian pada Tahap Persiapan Bahan

3.2 Diagram Alir Penelitian pada Tahap Pengaktifan dan *Finishing*

3.2 Diagram Alir Penelitian pada Tahap Pengujian





4 Analisa dan Pembahasan

Tabel 2 Data Pengujian Kuat Tekan Pada Pasta SPP

Komposisi Fly Ash : Semen (%-massa)	Suhu Pengaktifan Fly Ash (°C)	Kuat Tekan (Kg/cm ²)		
		3 hari	7 hari	28 hari
0 : 100	-	62.22	102.22	155.56
10:90	400	68.88	106.66	160
10:90	500	55.55	100	148.89
10:90	600	46.66	94.44	131.11

Tabel 3 Data Pengujian Kuat Tekan SPP : pasir (1:4)

Komposisi Fly Ash : Semen (%-massa)	Suhu Pengaktifan Fly Ash (°C)	Kuat Tekan (Kg/cm ²)		
		3 hari	7 hari	28 hari
0 : 100	-	233.33	264.44	286.67
10:90	400	148.88	220	260
10:90	500	137.77	208.88	251.11
10:90	600	115.55	140	204.44

Hasil pengujian kuat tekan beton dengan komposisi campuran *fly ash*, semen portland pozzolan dan pasir (1:4) pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Secara umum dapat dilihat bahwa kuat tekan meningkat. Hal ini terjadi karena butiran *fly ash* yang halus (yang lolos ayakan 270 mesh), akan cepat menyerap dan membentuk Ca(OH)₂ hasil dari proses hidrasi pada silikat dan aluminat aktif yang terkandung dalam abu terbang batubara, serta mencegah pembentukan silikat gel yang berubah menjadi kalsium silikat hidrat dan kalsium aluminat hidrat yang menutupi pori-pori. Pada saat abu terbang ditambahkan air, maka SiO₂ yang terkandung didalamnya akan menggumpal karena terbentuknya ikatan hidrogen yang dihasilkan dari gugus silinol (Si-OH), setelah itu, gugus silinol tersebut akan membentuk ikatan koagulasi dalam bentuk jejaring siloksan, dan siloksan tersebutlah yang akan menambah daya rekat antara pasir, *fly ash* dan semen yang menyebabkan kenaikan kuat tekan.]

Perubahan kandungan senyawa pada *fly ash* akan mempengaruhi kuat tekan beton yang dihasilkan, perubahan tersebut terlihat dari warna *fly ash* yang berubah-ubah pada setiap suhu pengaktifan, yaitu abu-abu pada suhu 400°C, abu kecoklatan pada suhu 500°C dan coklat muda pada suhu 600°C.

Warna tersebut mengindikasikan banyaknya kandungan MgO dan C_4AF (*Tetra Calcium Alumino Ferrite*, $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$), semakin banyak C_4AF yang terbentuk, maka pembentukan C_3A menjadi semakin rendah dan ini akan mengakibatkan kuat tekan semen menjadi semakin rendah, sehingga pengaktifan *fly ash* pada $500^\circ C$ dan $600^\circ C$ akan menghasilkan kuat tekan beton yang lebih rendah dibandingkan dengan suhu pengaktifan $400^\circ C$.

5 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan ::

1. Temperatur pengaktifan *fly ash* dari limbah dari PT. Garuda Mas Semesta yang baik untuk pembuatan semen portland pozzolan adalah $400^\circ C$
2. Kuat tekan beton yang paling tinggi pada penelitian ini adalah 260 kg/cm^2 , yaitu beton yang berumur 28 hari dengan suhu pengaktifan *fly ash* pada $400^\circ C$.
3. Peningkatan suhu pengaktifan dari $400^\circ C$ pada *fly ash*, akan menurunkan kuat tekan pada beton.

Daftar Pustaka

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan ::

1. Agustina, Rina & Rusly, Harri, Laporan Penelitian : "*Pemanfaatan Fly Ash dan Limbah Genteng Sebagai Bahan Pozzolan Dalam Pembuatan Beton*", Jurusan Teknik Kimia UNJANI, Cimahi, 2008.
2. Amir, AH, dkk, *Pengembangan pemanfaatan limbah Pertambangan Dan Industri Untuk Komponen*
3. Bangunan (Laporan Proyek), Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Bandung, 2002
4. Rizky, G dan Riaswati, Y. Laporan Kerja Praktek : PT. Semen Gresik (Persero) TBK Unit Tuban. Jurusan Teknik Kimia ITS, Surabaya, 2007.
5. Laboratorium Semen BBK, Petunjuk Praktikum Pengujian Fisika Semen. Balai Besar Keramik, Bandung, 2005.

Pengaruh Waktu Penahanan Proses Pengerasan Permukaan Cyaniding Terhadap Laju Difusi Nitrogen Terhadap Struktur Dan Sifat Mekanik Baja Perkakas Assab Xw-42

Abrianto Akuan

Dosen Jurusan Teknik Metalurgi
Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Achmad Yani

Abstrak. Salah satu metoda pengerasan permukaan dengan jalan merubah komposisi kimia yaitu dengan proses Cyaniding. Atom N (Nitrogen) diperoleh dari hasil reaksi garam $KFe(CN)$, dengan oksigen/udara dengan aktivator Na_2CO_3 . Atom N akan berdifusi masuk kedalam permukaan sehingga pada permukaan akan diperoleh lapisan white keras Fe_3N dan Fe_2N yang sifatnya keras. Proses cyaniding ini dilakukan dengan memvariasikan waktu yaitu 3, 9 dan 21 jam dengan temperatur $580^\circ C$. Dari hasil penelitian ini lapisan yang terbentuk pada proses 3 jam yaitu dengan rata-rata $40,870 \mu m$, untuk proses 9 jam lapisan yang terbentuk rata-rata $58 \mu m$ dan proses 21 jam lapisan yang terbentuk rata-rata $61,109 \mu m$. Sedangkan kekerasan yang dihasilkan akibat terbentuknya lapisan nitrida besi: Fe_3N adalah untuk proses 3 jam $771,61 Hv$, proses 9 jam $763,13Hv$ dan 21 jam $760,27 Hv$.

I Pendahuluan

Baja perkakas merupakan jenis material yang banyak dipergunakan dalam industri karena memiliki harga kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi. Baja perkakas biasa dipergunakan sebagai alat pemotong (*cutting*), alat pembentuk (*forming*), dan sebagai cetakan (*die*).

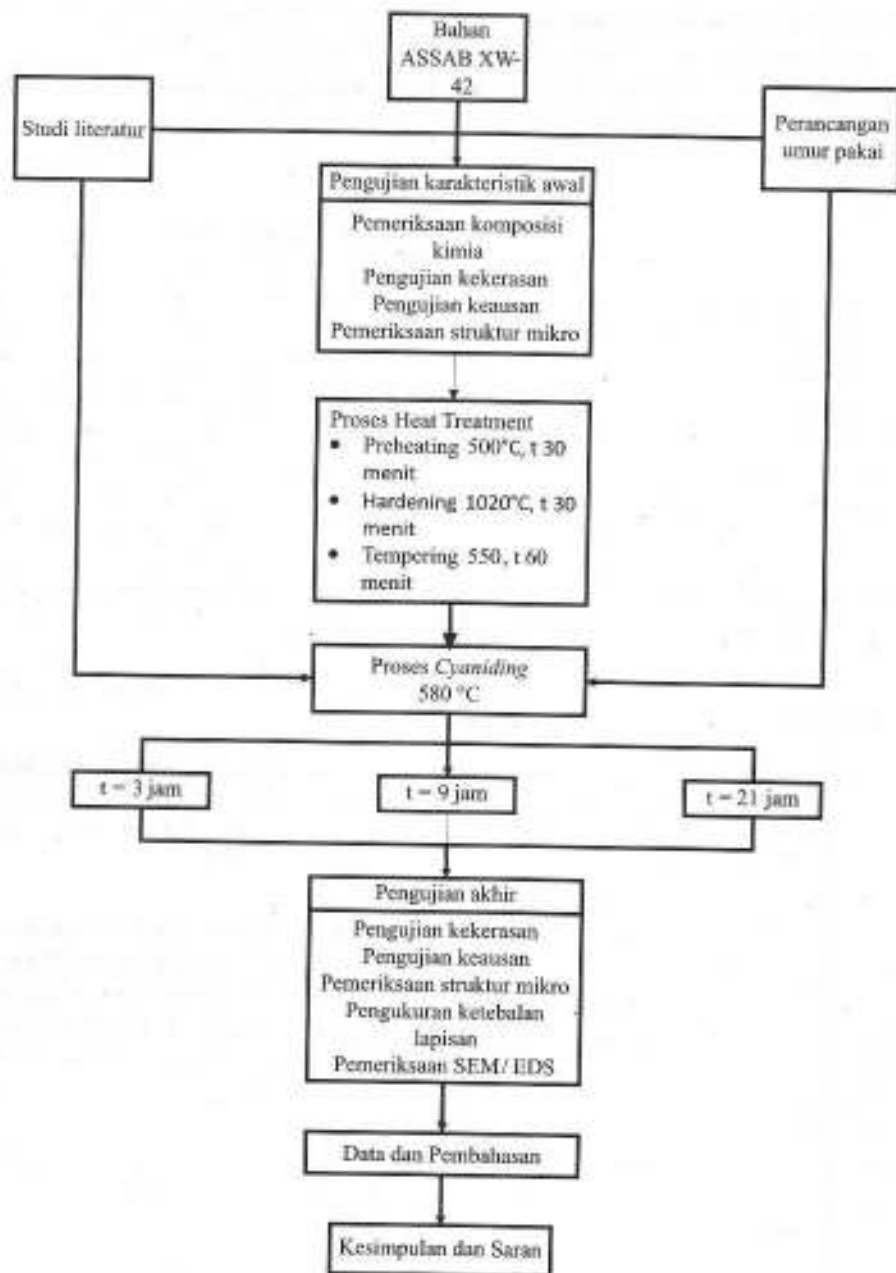
Proses perlakuan yang diterapkan untuk mengubah sifat logam dikenal dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*). Sedangkan proses perlakuan yang diterapkan untuk mengubah sifat/karakteristik logam pada permukaan disebut proses perlakuan permukaan (*surface treatment*), proses pengerasan ini dilakukan hanya pada permukaannya saja sedangkan dibagian dalamnya tetap ulet. Proses pengerasan permukaan dapat dikelompokkan dalam dua cara:

1. Proses yang dilakukan tanpa merubah komposisi kimia, contoh *flame hardening*, *induction hardening*, *laser hardening* dan lain-lain.
2. Proses yang dilakukan dengan merubah komposisi kimia, contoh *carburizing*, *nitriding*, *nitrocarburizing*, *carbonitriding* dan lain-lain yang biasanya disebut proses *cyaniding*.

Pada proses *cyaniding* benda kerja dipanaskan pada rentang temperatur $500^\circ - 590^\circ C^{(1)}$ dalam lingkungan yang mengandung nitrogen sehingga pada permukaan akan terbentuk suatu lapisan yang bersifat keras yang disebut *compound layer* jenis nitrida besi.

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja perkakas ASSAB XW-42 dengan tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh variasi waktu proses *cyaniding* terhadap struktur, kekerasan dan kedalaman lapisan yang terbentuk.

II Metodologi Penelitian



Gambar 1. Skema Penelitian.

Pada penelitian ini dipilih material baja perkakas ASSAB XW-42 yaitu jenis *cold work high carbon high chromium*, dengan komposisi kimia 1,55% C, 0.80% Mo, 11.80% Cr, 0.30% Mn, 0.30% Si, 0.80% V dan sisanya %Fe. Bentuk dan ukuran rata-rata setelah dipotong 38 x 21 x 13 (mm) sebanyak 6 buah.

Tabel 1. Kodefikasi dan perlakuan spesimen.

Kode Spesimen	1 (kondisi awal)	2	3	4	5	6
PREHEATING						
Suhu preheating (C)	-	500	500	500	500	500
Waktu penahanan (menit)	-	30	30	30	30	30
AUSTENISASI						
Suhu austenisasi (C)	-	1020	1020	1020	1020	1020
Waktu penahanan	-	30	30	30	30	30
Media pendingin	-	Oli	Oli	Oli	Oli	Oli
TEMPERING						
Suhu temper (double)	-	-	550	550	550	550
Waktu (menit)	-	-	60	60	60	60
CYANIDING						
Suhu proses (C)	-	-	-	580	580	580
Waktu penahanan (menit)	-	-	-	180	720	1440
Media pendingin	-	-	-	Udara	Udara	Udara

Bahan, peralatan dan proses yang digunakan dalam proses *cyaniding* ini adalah sebagai berikut:

- **Bahan**

(sesuai EPA (*Environmental Protection Agency*) *Development September 1992* untuk *Metal Casting and Heat Treating Industry*):

1. Garam sodium 60-70% (berat) keseluruhan campuran yang terdiri dari 96.5% NaCN, 2.5% Na₂CO₃, dan 0.5% NaCNO.
2. Garam potassium 30-40% (berat) total keseluruhan campuran yang terdiri dari 96% KCN, 0.6% K₂CO₃, 0.75% KCNO dan 0.5% KCl.

Berkenaan dengan sulitnya bahan yang digunakan dalam proses ini yaitu garam sianide (*potassium Cyanide/ KCN*) dan garam sianate (*potassium cyanate/ KCNO*) maka sebagai penggantinya digunakan RBM (KFe(CN)₆)/Racun Besi Merah (RBM) atau juga Kalium Ferry Cyanide. Berkaitan dengan digantinya bahan yang digunakan maka persentase bahan yang digunakan juga berubah pula yaitu: 80% RBM, 10% K₂CO₃, 5% KCl, dan 5% Na₂CO₃.

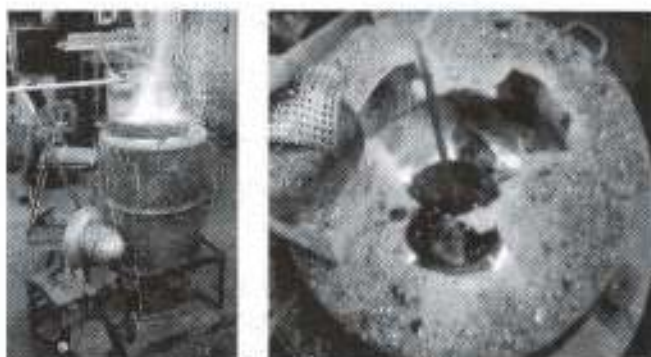
- **Peralatan**

1. Wadah, bahan *stainless steel*, volume 1.5 kg.
2. Tungku pemanas berbahan bakar arang.
3. Blower udara.
4. Thermocouple.

- **Proses**

Langkah pertama adalah penimbangan bahan-bahan tersebut yang kemudian dimasukkan kedalam satu wadah terus aduk rata, pada saat yang sama benda kerja yang sudah dibersihkan masing-masing diikat dengan seutas kawat baja kemudian semuanya dibenamkan dalam campuran garam tersebut. Setelah itu dimasukkan kedalam tungku dan isi tungku dengan arang.

Langkah kedua adalah proses pemanasan, dimana campuran garam yang berisi benda kerja dipanaskan sampai temperature 580° C dan suhu tungku dipertahankan tetap konstan selama proses *cyaniding* dengan waktu penahanan masing-masing selama 3 jam, 9 jam dan 21 jam.



Gambar 2. Proses Cyaniding pada tungku arang.

Langkah terakhir adalah proses pengangkatan dimana benda kerja masing-masing dikeluarkan dari dalam tungku sesuai dengan waktu yang diinginkan dan dibiarkan dingin di udara terbuka. Setelah itu dibersihkan dengan air biasa untuk menghilangkan sisa-sisa garam yang menempel.

III Data dan Pembahasan

3.1 Komposisi kimia

Perbandingan komposisi kimia antara ASSAB XW-42 dengan AISI D2 dapat dilihat pada Tabel.2 berikut ini.

Tabel 2. Perbandingan komposisi kimia.

Material	Komposisi Kimia, %							
	C	Cr	Mo	V	Mn	Si	Ni	Fe
ASSAB XW-42	1.55	11.80	0.80	0.80	0.30	0.30	-	Sisa
STANDAR AISI D2	1.40- 1.60	11.00- 13.00	0.70- 1.20	1.10 max	0.60 max	0.60 max	0.30 max	Sisa

3.2 Perhitungan Laju Pendinginan

Perhitungan laju kecepatan pemanasan dan pendinginan dari proses perlakuan panas, didapatkan dari hasil perhitungan teoritis yaitu dengan menggunakan persamaan pemanasan dan pendinginan Newton yaitu sebagai berikut:

$$t = \frac{\rho C_p V}{hc A} \ln \frac{T_c - T_s}{T_x - T_s}$$

t = Waktu pendinginan (h)

ρ = Massa jenis (lb/ft³)

V = Volume (ft³)

C_p = Panas jenis (Btu/lb.°F)

hc = Koefisien perpindahan panas (Btu/ h.ft².°F)

A = Luas (ft²)

T_x = Temperatur sesaat (°F)

- T_c = Temperatur pada inti benda ($^{\circ}F$)
 T_s = Temperatur permukaan benda ($^{\circ}F$)

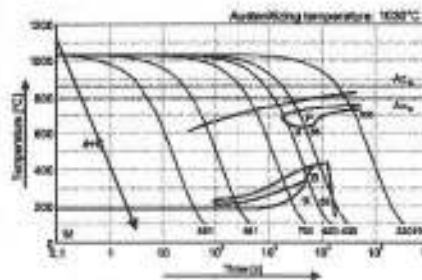
berdasarkan data referensi⁵⁾:

- ρ = 480 lb/ft³
 C_p = 0,15 Btu/lb. $^{\circ}F$
 H_c = 100 Btu/h.ft². $^{\circ}F$ (media oli)
 V = (10773,84)mm³ = 0,00038 ft³
 A = (3208,48)mm² = 0,03453 ft²

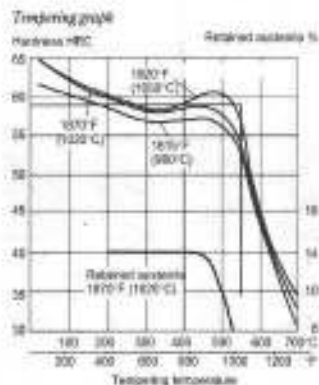


Gambar 3. Grafik hubungan temperatur terhadap waktu pendinginan.

Dari hasil laju pendinginan yang didapatkan, kemudian di plot kedalam diagram CCT untuk memprediksi fasa yang terbentuk setelah proses *hardening*, seperti terlihat pada Gambar dibawah ini.



Gambar 4. Diagram CCT (Continuous Cooling Transformation)



Gambar 5. Grafik hubungan kekerasan terhadap temperatur.

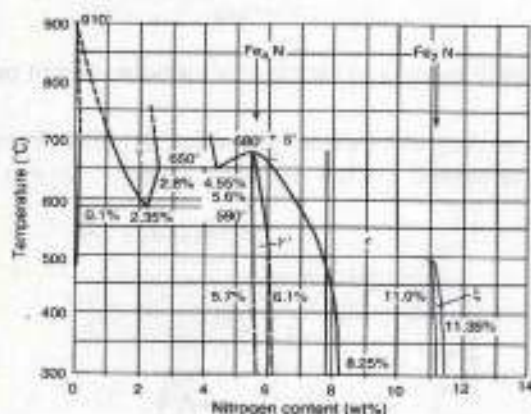
3.3 Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan alat uji mikro *Vickers* adalah sebagai berikut:



Gambar 6. Grafik hubungan kekerasan dengan jarak.

3.4 Ketebalan Lapisan



Gambar 7. Diagram kesetimbangan Fe-N

Dibawah ini adalah hasil ketebalan lapisan yang diperoleh dari proses *cyaniding* selama 3, 9 dan 21 jam.



Gambar 8. Grafik hubungan ketebalan lapisan yang terbentuk terhadap waktu.

3.5 Distribusi Konsentrasi Unsur Nitrogen

Perhitungan konsentrasi nitrogen dari permukaan kedalam spesimen pada waktu t tertentu, didapatkan dari hasil perhitungan teoritis yaitu dengan menggunakan persamaan hukum Fick's II dan hukum Arrhenius sebagai berikut:

$$\frac{dC_x}{dt} = \frac{d}{dx} \left(D \frac{dC_x}{dx} \right)$$

Dari hukum Fick's II diatas diperoleh persamaan:

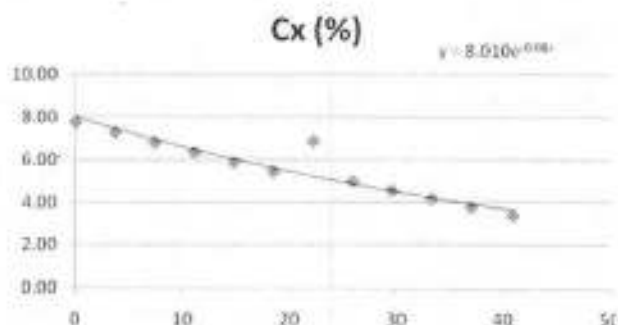
$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = \text{erf} \left[\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right]$$

- C_s = konsentrasi nitrogen yang akan didifusikan ke permukaan (%)
- C_0 = konsentrasi awal nitrogen didalam baja (%)
- C_x = konsentrasi nitrogen sejauh x dari permukaan pada waktu t (%)
- x = jarak dari permukaan (cm)
- D = koefisien difusi (cm²/ detik)
- t = waktu (detik)

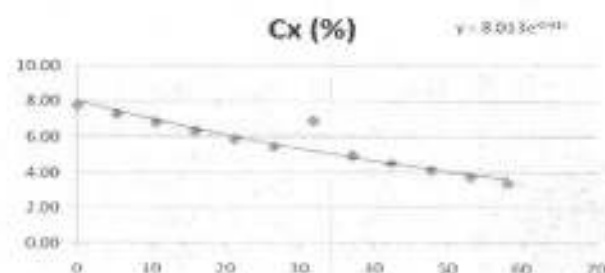
Hukum Arrhenius untuk menghitung laju difusinya:

$$D = D_0 \exp \left(-\frac{Q}{RT} \right)$$

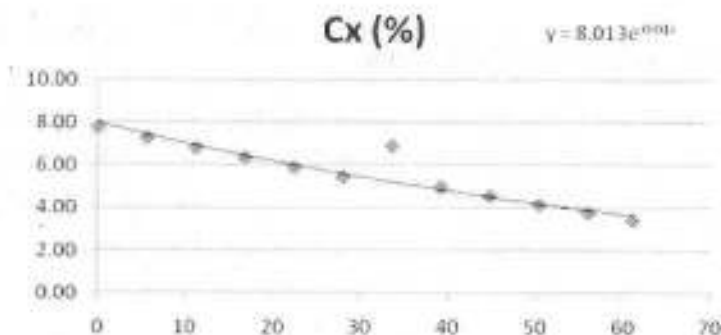
D_0 adalah factor frekuensi/difusivitas (cm²/detik), Q adalah energi aktivasi (kal/mol), T adalah temperatur proses (K), dan R adalah konstanta gas (1,987 kal/mol.K).



Gambar 9. Grafik laju difusi nitrogen terhadap ketebalan lapisan untuk proses 3 jam.



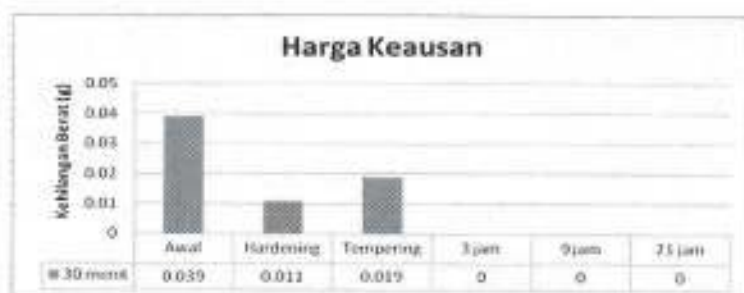
Gambar 10. Grafik laju difusi nitrogen terhadap ketebalan lapisan untuk proses 9 jam.



Gambar 11. Grafik laju difusi nitrogen terhadap ketebalan lapisan untuk proses 21 jam.

3.6 Pengujian Aus

Dari hasil pengujian keausan didapat data sebagai berikut:



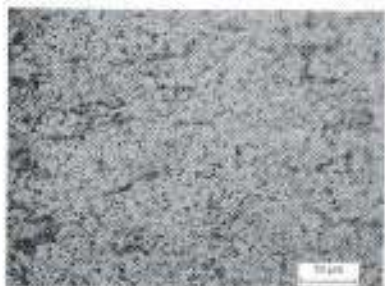
Gambar 12. Grafik hubungan %kehilangan berat terhadap waktu.

3.7 Pemeriksaan Metalografi

Pemeriksaan struktur mikro (etsa: Nital 3 %) pada kondisi awal, hasil proses *hardening* dan hasil proses *cyaniding*.



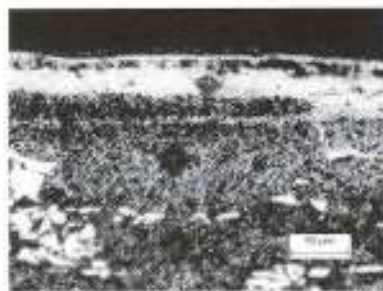
Gambar 13. Baja perkakas ASSAB XW-42 kondisi awal (hasil annealed). Struktur terdiri dari partikel karbida yang sangat banyak tersebar dan partikel karbida sferoidal yang sedikit dalam matriks pearlite dan ferrite.



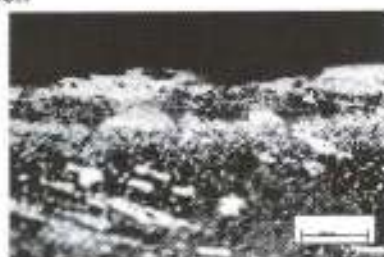
Gambar 14. Baja perkakas ASSAB XW-42 kondisi hardening, dipanaskan 1020 °C dan didinginkan dengan oli (tidak ditemper). Paduan karbida yang sangat banyak dan partikel karbida sferoidal yang sedikit dalam butir didalam matriks martensit yang tidak ditemper.



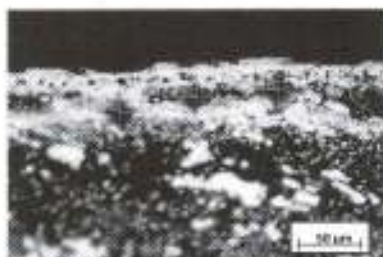
Gambar 15. Baja perkakas ASSAB XW-42 kondisi tempering, struktur terdiri dari partikel karbida dalam matriks martensit temper.



Gambar 16. Hasil cyaniding selama 3 jam pada baja perkakas ASSAB XW-42 terbentuk lapisan dengan rata-rata 40,87 μm .



Gambar 17. Hasil cyaniding selama 9 jam pada baja perkakas ASSAB XW-42 terbentuk lapisan dengan rata-rata 58 μm .



Gambar 18. Hasil cyaniding selama 21 jam pada baja perkakas ASSAB XW-42 terbentuk lapisan dengan rata-rata 61,11 μm .

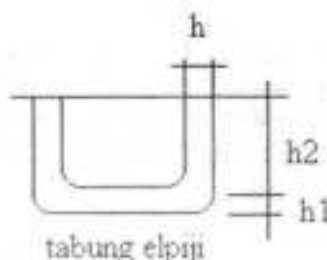
3.8 Prediksi Jumlah Keping (*Blank*) Pada Proses *Blanking* Untuk Bakalan dalam Pembuatan Tabung Gas 3 Kg.

Table 1 Wear coefficients for various combinations of materials under conditions of dry sliding(a)

Sliding combination		Wear coefficient, k	Hardness of softer member, 10^4 g/cm^2
Cylinder material	Ring material		
Low-carbon steel	Low-carbon steel	7.0×10^{-3}	18.6
60-40 brass	Hardened steel	6.0×10^{-4}	9.5
PTFE	Hardened steel	2.5×10^{-5}	0.5
Bakelite	Hardened steel	7.5×10^{-6}	2.5
Beryllium copper	Hardened steel	3.7×10^{-5}	21.0
Tool steel	Hardened steel	1.3×10^{-4}	85.0
Stellite	Hardened steel	5.5×10^{-5}	69.0
Tungsten carbide	Low-carbon steel	4.0×10^{-6}	18.6
Tungsten carbide	Tungsten carbide	1.0×10^{-6}	130.0

(a) Wear coefficients given are for the end of a cylinder sliding against the flat surface of a ring at 1.8 m/s (6 ft/s) under a 400-g load

Prediksi perbandingan jumlah keping (*blank*) bahan baja karbon rendah dari yang di peroleh dari perkakas sebelum dan sesudah dilakukan proses pengerasan permukaan *cyaniding*. Volume yang hilang akibat keausan dari perkakas pada saat proses *blanking* adalah:



Diameter Blank:

$$D = \sqrt{d^2 + 4 \cdot (h_1^2 + d \cdot h_2)}$$

$$= \sqrt{26,43^2 + 4 \cdot (3^2 + 26,43 \times 5)}$$

$$= 35,54 \text{ cm} = 355,4 \text{ mm}$$

$$F_T = A \cdot \delta_u = \delta \cdot D \cdot h \cdot \delta_u$$

$$= 3,14 \times 355,4 \times 3 \times 0,7 \times 37$$

$$= 86713,75 \text{ kg}$$

$$F_p = 1,3 \times F_T$$

$$= 1,3 \times 86713,75$$

$$= 112727,88 \text{ kg}$$

Volume yang hilang akibat keausan dari perkakas pada setiap kali proses *blanking*:

$$V = \frac{kSL}{H}$$

$$V = \frac{1,3 \times 10^{-4} \times 3 \times 112727,88}{571,2} = 0,077 \text{ mm}$$

$$V = \frac{1,3 \times 10^{-4} \times 3 \times 112727,88}{771,61} = 0,057 \text{ mm}$$

Volume perkakas hingga lapisan keras mengalami keausan:

$$V_0 = A \cdot t_{\text{lapisan}} = \pi \cdot d \cdot h \cdot t_{\text{lapisan}}$$

$$= 3,14 \times 264,3 \times 3 \times 0,041$$

$$= 102,09 \text{ mm}$$

Perbandingan kemampuan baja perkakas ASSAB XW-42 antara sebelum dan sesudah *cyaniding*:

$$\text{sebelum cyaniding} = \frac{102,09}{0,077} = 1326 \text{ bahan}$$

$$\text{setelah cyaniding} = \frac{102,09}{0,057} = 1792 \text{ bahan}$$

3.9 Pembahasan

Baja perkakas ASSAB XW-42 merupakan baja paduan tinggi, hal ini terlihat dari jumlah unsur pematunya > 8% dan tergolong kedalam standar AISI D2. Baja perkakas ini digunakan untuk keperluan cetakan (*dies for molding*) seperti cetakan keramik, cetakan untuk membuat batu bata (*bricks*), roda gerinda, tablets, cetakan untuk *abrasive plastic* dan sebagai perkakas proses *blanking*.

Sebelum proses *cyaniding* dilakukan, dilakukan proses *heat treatment (preheating, hardening, tempering)* terlebih dahulu. *Preheating* yang dilakukan pada temperatur 500 °C selama 30 menit bertujuan untuk mengurangi distorsi retak akibat tidak homogenya temperatur dibagian dalam dan dibagian permukaan dan biasanya untuk baja perkakas dilakukan pada rentang temperatur 500-600 °C karena konduktivitasnya rendah akibat dari banyaknya unsur paduan yang terdapat pada baja perkakas tersebut/karbida yang ada menghalangi transfer panas sehingga temperatur yang digunakan cukup tinggi³⁰. Kemudian temperatur dinaikkan sampai 1020 °C selama 30 menit.

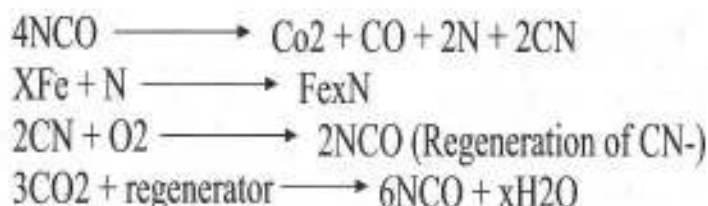
Pada proses *hardening* ini, terjadi peningkatan kekerasan pada Gambar 6 untuk harga kekerasan hasil *hardening* didapat harga kekerasan dengan rata-rata sebesar 745,5 HV sedangkan sebelum di *hardening* rata-ratanya sebesar 225,4 HV. Kenaikan nilai kekerasan tersebut diakibatkan oleh adanya perubahan struktur mikro yang berubah menjadi *martensite*. Juga diakibatkan oleh adanya unsur-unsur paduan pembentuk karbida selain unsur karbon. Seperti *Molibdenum* akan membentuk senyawa karbida (Mo_3C), *krom (Cr)* akan membentuk senyawa karbida ($Cr_{23}C_6$) dan *Vanadium (V)* akan membentuk senyawa karbida yang sangat keras (V_4C_3). Pembentukan *martensit* didasari pada proses pergeseran atom yang melibatkan penyusutan dari struktur kristal. Struktur *martensit* merupakan konsekuensi langsung dari tegangan disekitar matriks yang timbul akibat mekanisme geser pada saat transformasi. Transformasi *martensit* tersebut biasanya dihubungkan sebagai transformasi non *thermal (athermal transformation)*.

Dari proses *quenching* dapat dihitung laju pendinginannya menggunakan persamaan laju pemanasan dan pendinginan *Newton* sehingga dinyatakan bahwa untuk mendinginkan spesimen dengan ukuran 38x22x15 mm membutuhkan waktu pendinginan selama 0,1 menit atau 6 detik. Hasil perhitungan tersebut kemudian di plot kedalam diagram CCT (Gambar 4), dari diagram CCT ini dapat diprediksi perubahan struktur mikro yang terjadi pada saat proses pendinginan.

Struktur *martensit* ini sifatnya sangat keras dan getas sehingga berkemungkinan terjadi adanya retak dan adanya perubahan akibat distorsi. Proses *tempering* ini dilakukan dengan cara memanaskan kembali spesimen sampai temperatur 550 °C kemudian ditahan selama 1 jam. Dengan pemilihan temperatur *tempering* pada temperatur 550 °C diharapkan kekerasan yang didapat setelah proses *tempering* sebesar 55 HRC atau 595 Hv (Gambar 5).

Berdasarkan data hasil pengujian kekerasan, maka dapat dinyatakan bahwa proses *cyaniding* yang dilakukan dapat dikatakan berhasil, hal ini terlihat dari harga kekerasan yang meningkat setelah proses *cyaniding*. Diantara variasi waktu 3, 9 dan 21 jam (Gambar 6) yang paling tinggi harga kekerasannya adalah dari hasil proses selama 3 jam sebesar 771,61 Hv. Pada data ketebalan lapisan (Gambar 7) menunjukkan adanya lapisan yang terbentuk namun lapisan yang terbentuk ini bukanlah lapisan *white layer*, hal ini dapat disebabkan karena konsentrasi nitrogen (nitrogen potensial) dari larutan garam tidak mencapai konsentrasi untuk terbentuknya *white layer/Fe₃N (>11%)*. Tidak tercapainya lapisan Fe_3N ini disebabkan karena banyak faktor diantaranya adalah jenis larutan yang digunakan.

Jenis larutan yang digunakan berpengaruh terhadap ketebalan dan jenis lapisan yang terbentuk ini disebabkan karena sumber nitrogen sebagian besar dihasilkan dari pemisahan cyanites dalam larutan garam dan dari oksidasi cyanates. Reaksi kimia dan sumber nitrogen yaitu³⁰:



Sebagai mana diketahui nitrogen berdifusi secara interstisi kedalam material dan bergabung bersama membentuk nitrida pada baja, yang artinya bahwa difusi nitrogen akan semakin bertambah dan membentuk nitrida⁵⁾. Harga kekerasan dari lapisan difusi ditentukan oleh unsur kimia pada baja tersebut serta komposisi larutan dan pemilihan temperatur proses⁵⁾.

Komposisi dari senyawa lapisan akan bergantung sekali pada komposisi baja salah satunya dipengaruhi oleh kandungan karbon pada baja tersebut. Kandungan karbon akan berpengaruh sangat besar terhadap pembentukan fasa epsilon nitrida (lapisan rapuh keras). Dibawah fasa ini, daerah senyawa akan berisi nitrogen, yang akan berdifusi mencapai α -Fe.

Proses difusi sangat dipengaruhi oleh temperatur dan waktu dimana semakin tinggi temperatur dan lamanya waktu pemanahan, maka makin tebal lapisan *cyaniding* terbentuk karena laju difusi makin besar ini ditunjukkan pada Gambar 8. Secara teoritis dapat dibuktikan pula oleh hasil perhitungan laju difusi nitrogen dengan menggunakan hukum difusi kedua *Fick* dan hukum *Arrhenius*, dari hasil perhitungan dengan variasi waktu 3 jam didapat bahwa % nitrogen yang berdifusi kedalam permukaan spesimen lebih baik dibandingkan dengan ke-2 proses lainnya (9 dan 21 jam) karena selain terjadi difusi nitrogen, juga terjadi reaksi oksidasi. Bila dilihat pada Gambar 16, 17 dan 18 untuk masing-masing proses 3, 9 dan 21 jam dari hasil perhitungan tersebut semakin lama waktu yang diberikan maka semakin dalam difusi nitrogen yang masuk kedalam permukaan spesimen dan pada permukaan spesimen konsentrasi nitrogen lebih tinggi dibandingkan dengan bagian dalam.

Hasil yang diperoleh dari pengujian keausan untuk spesimen setelah proses *cyaniding* diperoleh prosentase kehilangan berat sebesar 0%, yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan spesimen hasil proses *hardening* yaitu sebesar 0,019 %. Hal ini menunjukkan bahwa spesimen hasil *cyaniding* ini lebih keras walaupun lapisan *white layer*-nya tidak terbentuk.

Berdasarkan data hasil pemeriksaan metalografi Gambar 13, 14 dan 15, struktur mikro terdiri dari partikel karbida yang sangat banyak tersebar dengan partikel karbida *spheroidal* yang sedikit dalam matriks perlit dan ferit dengan kekerasan 225,43 Hv. Struktur mikro setelah-proses *hardening* adalah martensit dan partikel karbida *spheroidal* yang sedikit dalam butir didalam matriks martensit dengan kekerasan sebesar 745,5 Hv.

Setelah dilakukan proses *tempering*, struktur mikro terdiri dari partikel karbida dalam matriks *martensit temper* Dengan kekerasan sebesar 571,2 Hv, karena dengan memanaskan kembali struktur hasil proses *hardening* maka martensit akan bertransformasi sehingga keuletan dan ketangguhannya akan sedikit meningkat dan kekerasannya menjadi berkurang.

IV Kesimpulan dan Saran

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil proses *cyaniding* kekerasan yang didapat adalah untuk proses 3 jam 771,6167 Hv, proses 9 jam 763,13Hv dan 21 jam 760,27 Hv.
2. Semakin tinggi temperatur *cyaniding* dan lamanya waktu penahanan, maka makin tebal lapisan yang terbentuk karena laju difusi makin besar. Ketebalan lapisan yang terbentuk bervariasi yaitu untuk proses 3 jam lapisan yang terbentuk rata-rata 40,870 μm , untuk proses 9 jam ketebalan lapisan yang terbentuk rata-rata 58 μm dan proses 21 jam lapisan yang terbentuk rata-rata 61,109 μm .

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal dari penelitian ini, maka dapat disarankan sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan ketebalan lapisan nitrida yang homogen yang perlu diperhatikan menjaga temperatur tetap konstan dan waktu yang cukup. Selain itu tempat larutan *cyaniding*, sebaiknya untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan misalnya jebol tempat larutannya sebaiknya yang cukup tebal atau menggunakan material yang berbahan dasar keramik.
2. Untuk mempercepat reaksi sebaiknya selama proses berlangsung di injeksikan udara kedalam tungku agar kandungan sianat bisa dikontrol dengan lebih baik.

Karena selama proses berlangsung terjadi reaksi ini



maka reaksi ini dikontrol dengan menginjeksikan oksigen.

Daftar Pustaka

1. K-E Thelning, "STEEL AND ITS HEAT TREATMENT" Second Edition, Head of Research and Development Smedjebacken-Boxholm Stal AB, Sweden, 1984
2. Robert F. Mehl, "Atlas of Microstructures of Industrial alloys vol. 7, METALS HANDBOOK 8th Edition", Chairman of all Volume 7 committees, AMERICAN SOCIETY FOR METALS, Metals Park, Ohio 44073.
3. George M. Enos & William E. Fonraire, "Elements of Heat Treatment", Late Propessor of Metallurgical Engineering & Associate Propessor of Metallurgical Engineering Purdue University, New York-John Wiley & Son, Inc.
4. George E. Totten, Ph. D., FASM, "STEEL HEAT TREATMENT METALLURGY AND TECHNOLOGIES", Portland State University, Portland, Oregon, USA.
5. Rochim Suratman, "PANDUAN KULLAH PROSES PERLAKUAN PANAS", Institut Teknologi Bandung, Bandung 4035, 1994.
6. Metallographic preparation of nitrided and nitrocarburised components. Struers Application Notes
7. SURFACE HARDENING OF AISI 304, 316, 304L AND 316L SS USING CYANIDE FREE SALT BATH NITRIDING PROCESS, T. Kumar¹, P. Jambulingam², M. Gopal³ and A. Rajadurai⁴.
8. "HEAT TREATMENT OF TOOL STEEL", UDDEHOLM/ ASSAB, Edition 6, 12.2007, EU Directive 1999/45/EC
9. Dr. Joachim BoBlet/ Michael Kreutz, "TUFFTRIDE®-QPQ-PROCESS", Durferrit GmbH Industriestrasse 3, D-68169 Mannheim, Phone +49 (0) 621 / 32224-0.
10. Robert Wilson, "Metallurgy and Heat Treatment of Tools Steels", Book compeny (UK) Limited, England, 1975

Pengaruh *Artificial Aging* Terhadap Sifat Mekanik Hasil Lasan Tig Aluminium Seri 6013 T4

Martijanti

Jurusan Teknik Mesin – UNJANI

e-mail : martijanti@yahoo.co.id

Abstrak. Hasil pengelasan yang diterapkan pada paduan aluminium seri 6xxx tidak selalu menghasilkan sambungan dengan kualitas yang baik, hal ini disebabkan oleh adanya penurunan sifat mekanis selama proses pengelasan. Salah satu cara yang digunakan untuk meningkatkan sifat mekanis adalah proses *artificial aging* (penuaan buatan) yang dilakukan pada temperatur 180 °C sedangkan waktu agingnya divariasikan 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh waktu penahanan pada saat aging terhadap hasil lasan paduan aluminium, sehingga diperoleh kualitas hasil lasan yang menunjukkan sifat mekanis yang optimal. Paduan aluminium yang digunakan adalah Aluminium seri 6013 T4.

Data penelitian yang diperoleh adalah kekuatan luluh, kekuatan tarik, perpanjangan, distribusi kekerasan, kekasaran permukaan dan struktur mikro terhadap sample uji tanpa proses *artificial aging* dan setelah proses *artificial aging*. Dari hasil penelitian diperoleh peningkatan dari nilai kekuatan tarik (20 –90)% maupun kekerasan (30 – 95) % pada paduan aluminium seri 6013 setelah proses *artificial aging*. Dari hasil pengujian kekasaran permukaan bahwa nilai Ra, Rz dan Rmax jika dibandingkan dengan nilai material awal, maka nilai optimal terjadi pada kondisi waktu *aging* yang 3 jam, sedangkan pengaruh *artificial aging* setelah pengelasan terhadap struktur mikro akan menghasilkan penghalusan terhadap presipitat.

Kata Kunci : Aluminium seri 6013 T4, pengelasan, waktu *aging*, sifat mekanis

1 Pendahuluan

Aluminium termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan terhadap korosi, dan merupakan konduktor listrik yang cukup baik. Logam ini selain banyak digunakan untuk material struktur pesawat terbang juga dipakai secara luas dalam bidang kimia, listrik, bangunan, transportasi dan alat-alat penyimpanan. Kemajuan teknologi akhir-akhir ini terutama dalam teknik pengelasan busur listrik dengan gas mulia menyebabkan pengelasan Aluminium dan paduannya di dalam berbagai bidang telah berkembang (Harsono,2000). Untuk struktur pesawat terbang yang terdiri dari banyak komponen akan membutuhkan proses-proses sambungan logam yang tidak dapat dihindarkan

Jenis sambungan yang umum digunakan di Industri pesawat terbang adalah metoda penyambungan material secara mekanik yang menggunakan baut atau paku keling, tetapi pada struktur komponen pesawat terbang ada bagian - bagian tertentu yang membutuhkan sambungan dengan pengelasan, seperti pada interior pesawat terbang yang biasanya terdapat pada rangka kursi, rangka pada panel-panel instrumen atau komputer serta rangka tempat penyimpanan barang-barang.

Paduan Aluminium yang umum digunakan untuk pesawat terbang adalah paduan Al Cu seri 2xxx, Al Mg Si seri 6xxx, dan Al Mg Zn seri 7xxx, dari ke 3 jenis paduan Aluminium tersebut,

paduan Al Mg Si seri 6xxx mempunyai sifat yang kurang baik yaitu terjadinya pelunakan pada daerah las sebagai akibat dari panas pengelasan yang timbul, sehingga akan berpengaruh terhadap kualitas sambungannya (Harsono,2000). Untuk mengatasi masalah tersebut pada proses pengelasan paduan Al Mg Si seri 6xxx perlu diadakan suatu penelitian untuk mencari suatu metode yang sesuai untuk mendapatkan sifat mekanik yang optimal khususnya pada daerah lasan (*Fusion zone*).

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah Aluminium seri 6013 T4 yang merupakan material yang sedang dikaji sifat-sifat dan *abilitynya* di PT. Dirgantara Indonesia sebagai material alternatif untuk menggantikan material yang telah digunakan sebelumnya seperti Aluminium seri 6061. Paduan aluminium seri 6013 T4 merupakan paduan baru dari aluminium seri 6xxx yang mampu untuk dilaku panas dan mampu dilas.

Pada proses pengelasan paduan Aluminium yang bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanik pada daerah sambungan las perlu dilakukan proses heat treatment, sehingga mampu meningkatkan kekuatan pada aluminium khususnya pada daerah lasan (VA Fedoseev, Viryazantev,1999). Penelitian yang pernah dilakukan adalah bervariasi proses aging sebelum dan sesudah pengelasan tanpa melakukan variasi temperatur dan waktu agingnya. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa peningkatan kekerasan serta kekuatan tarik terbesar terjadi pada material yang mengalami proses lasan dilanjutkan perlakuan panas pelarutan serta artificial aging dan material yang digunakan adalah aluminium seri 6063 T6 (Slamet Wahyudi dan Ahmad Efan Nurilmaulidi,2000), sehingga penulis berusaha untuk mengembangkan penelitian tersebut dengan melakukan variasi waktu penahanan selama proses aging (waktu aging) terhadap hasil lasan paduan aluminium khususnya Aluminium seri 6013 T4, karena variabel tersebut akan mempengaruhi terhadap pembentukan presipitat yang terjadi selama proses aging yang memberikan kontribusi terhadap sifat mekanik pada Aluminium.

Pada penelitian ini penulis hanya memfokuskan untuk mendapatkan waktu aging yang optimal untuk paduan Aluminium seri 6013 T4 yang mengalami proses pelunakan akibat dari proses pengelasan, sehingga memperoleh kembali kekuatan yang optimal dari paduan Aluminium seri 6013 T4 yang telah dilakukan proses aging setelah dilas.

II Metoda Penelitian

Bahan yang diteliti adalah Aluminium seri 6013 T4. Pengelasan dilakukan di Welding Departement PT. Dirgantara Indonesia. Pengelasan dilakukan pada tegangan 10 – 20 Volt (AC), arus : 60 – 70 ampere, kecepatan lasan : 11.32 cm/menit, diameter filler : 2,5 mm. Logam pengisi adalah ER 5754. Komposisi logam dasar dan logam pengisi ditunjukkan pada tabel 1 dan tabel 2. Spesimen uji tarik berdasarkan ASTM E-8M (lihat pada gambar 1). Setelah proses pengelasan kemudian dilakukan proses solution treatment pada temperatur 570 ° selama 60 menit dan artificial aging pada temperatur 180 ° dengan variasi waktu aging 2,3,4,dan 5 jam.

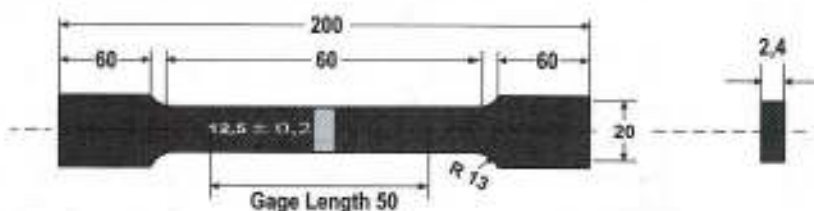
Distribusi kekerasan pada material dasar, material yang mengalami pengelasan dan material yang mengalami pengelasan maupun perlakuan panas dengan kondisi waktu aging yang berbeda- beda (2 jam,3jam,4jam dan 5 jam) dilakukan pengujian kekerasan mikro (Uji Vikress). Indentor yang digunakan dalam pengujian ini adalah indentor berbentuk pyramid dengan sudut 136° Beban yang digunakan 0.20 kgf , waktu 30 detik dan mesin uji yang digunakan adalah Mitutoyo MVK-H2.

Tabel 1. Komposisi kimia Aluminium seri 6013 dan 6061

Paduan Al	Komposisi (% berat)					
	Cu	Si	Mn	Mg	Fe	lainnya
6061	0.15 – 0.40	0.4 – 0.8	0.15	0.8 – 1.2	0.70	0.20
6013	0.6 – 1.1	0.6 – 1.0	0.20- 0.8	0.8 – 1.2	0.50	0.20

Tabel 2. Hasil Spektrometri Filler Material ER 5754

Komposisi Filler material ER 5754 (%)						
Si	Mn	Cu	Ni	Ti	Zn	Mg
0.21	0.12	0.46	0.061	0.0096	0.21	1.45



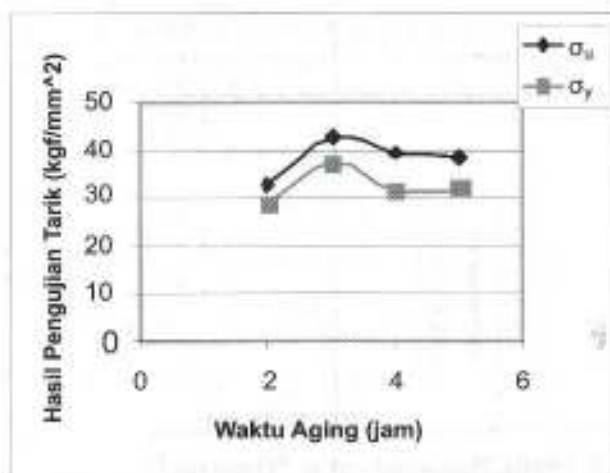
Gambar 1 Dimensi Spesimen Uji Tarik Hasil Pengelasan

III Hasil Penelitian

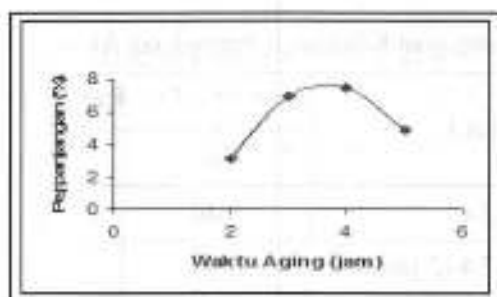
Pengujian tarik terhadap Aluminium seri 6013 T4 dilakukan terhadap material awal, material yang dilakukan proses pengelasan, dan material yang dilakukan proses pengelasan maupun pemanasan dengan bervariasi waktu aging yaitu 2, 3, 4, dan 5 jam. Hasil pengujian tarik yang terdiri dari nilai kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan perpanjangan dalam perhitungan rata-rata untuk paduan Aluminium ini dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai rata-rata σ_u , σ_y , ϵ Paduan Aluminium Seri 6013

Spesimen	σ_u (kgf/mm ²)	σ_y (kgf/mm ²)	ϵ (%)
Awal	35,3	22,4	20,5
Setelah Dilas	23,5	37,3	3,8
Setelah Proses Dilas dan <i>Artificial Aging</i> (waktu aging 2 jam)	32,6	28,6	3,1
Setelah Proses Dilas dan <i>Artificial Aging</i> (waktu aging 3 jam)	42,9	37,3	6,9
Setelah Proses Dilas dan <i>Artificial Aging</i> (waktu aging 4 jam)	39,6	31,8	7,5
Setelah Proses Dilas dan <i>Artificial Aging</i> (waktu aging 5 jam)	38,6	32	4,9



Gambar 3. Grafik Hubungan Waktu Aging dengan Tegangan Maximum dan Tegangan Luluh

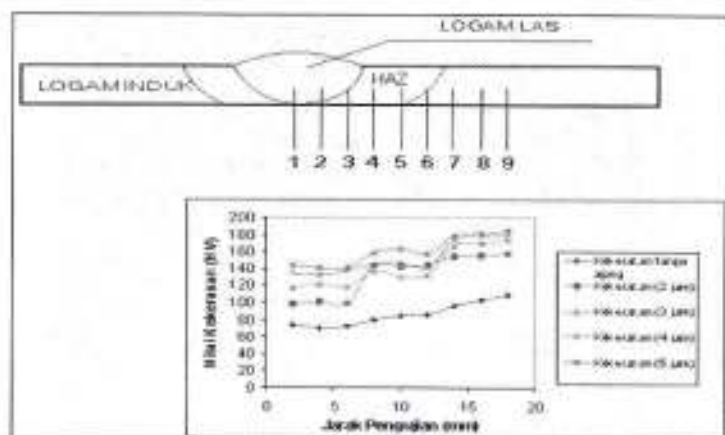


Gambar 4. Grafik Hubungan Waktu Aging dan (Perpanjangan)

Pengujian kekerasan pada bahan aluminium paduan seri 6013 T4 dapat dilihat pada tabel 4 dan hubungan antara jarak pengujian dengan nilai kekerasan dapat dilihat pada gambar 5 Nilai kekerasan pada bahan awal sebelum dilakukan pengelasan mempunyai nilai rata-rata kekerasan sebesar 103.25 HV.

Tabel 4. Data Hasil Kekerasan Aluminium Seri 6013

Jarak (mm)	Kekerasan (kgf/mm ²) / HV				
	Tanpa aging	Aging Time (2 jam)	Aging Time (3 jam)	Aging Time (4 jam)	Aging Time (5 jam)
2	74	98	118	135	144
4	70	101	121	132	140
6	72	99	119	138	141
8	80	143	137	145	158
10	84	143	131	147	163
12	85	144	132	141	157
14	96	157	167	174	179
16	103	155	170	179	181
18	109	157	173	179	185

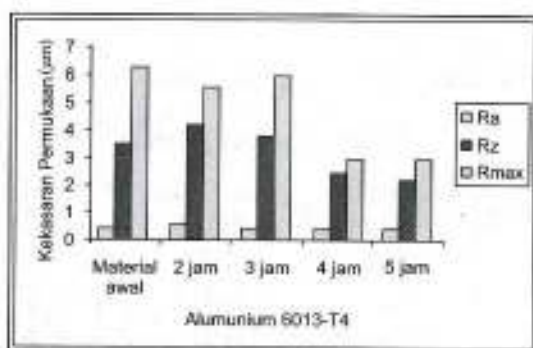


Gambar 5. Grafik Hubungan Jarak Pengujian Dan Nilai Kekerasan

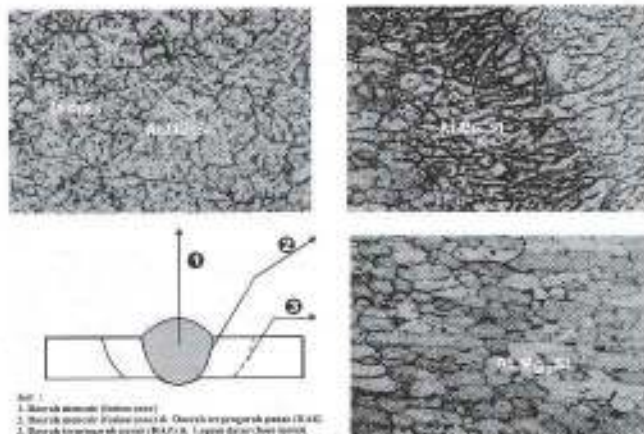
Pengujian kekasaran permukaan paduan Aluminium 6013-T4 dapat dilihat pada tabel 5 dan hasil struktur mikro dapat dilihat pada gambar 7 sampai dengan gambar 11..

Tabel 5. Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan Aluminium seri 6013-T4

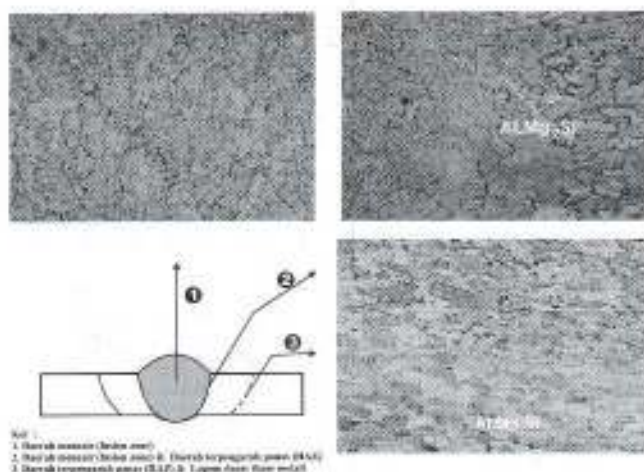
MATERIAL	Kekasaran (μm)		
	Ra	Rz	Rmax
Aluminium 6013-T4	0.40	3.52	6.27
Aluminium 6013-T4 (2 jam)	0.59	4.21	5.59
Aluminium 6013-T4 (3 jam)	0.47	3.75	5.97
Aluminium 6013-T4 (4 jam)	0.42	2.46	2.96
Aluminium 6013-T4 (5 jam)	0,35	2.24	2.93



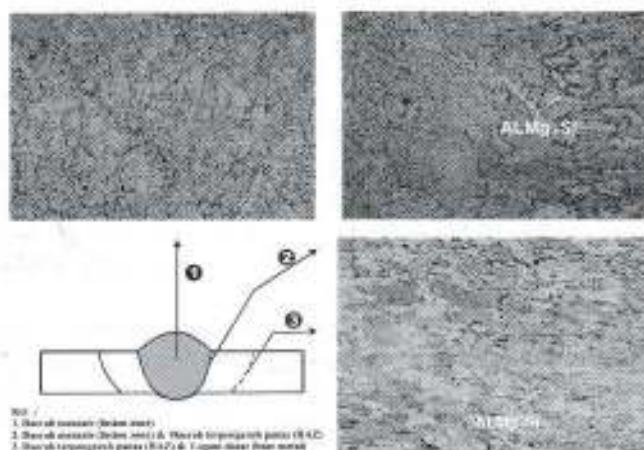
Gambar 6. Grafik Kekasaran permukaan Aluminium 6013-T4



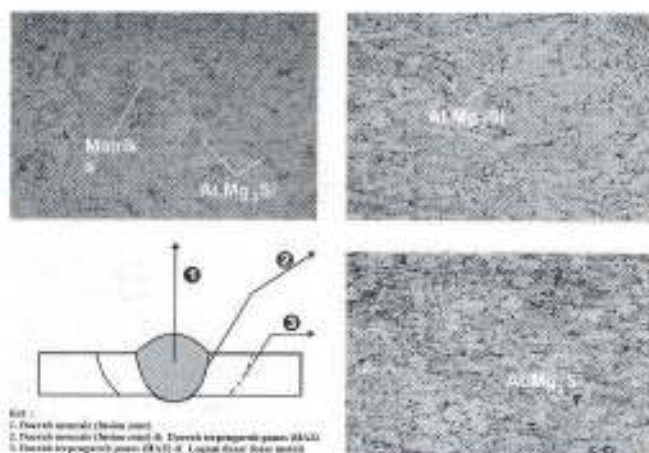
Gambar 7. Hasil pengelasan Aluminium seri 6013-T4 tanpa proses perlakuan panas



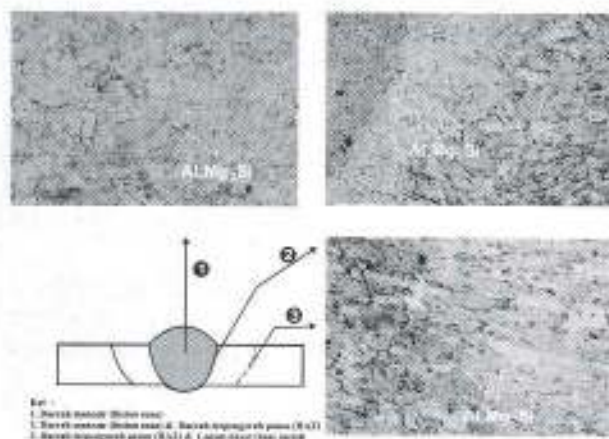
Gambar 8. Gambar struktur mikro hasil pengelasan yang diikuti proses laku panas dengan waktu 2 jam



Gambar 9. Gambar struktur mikro hasil pengelasan yang diikuti proses laku panas dengan waktu 3 jam



Gambar 10 Gambar struktur mikro hasil pengelasan yang diikuti proses laku panas dengan waktu 4 jam



Gambar 11 Gambar struktur mikro hasil pengelasan yang diikuti proses laku panas dengan waktu 5 jam

III Pembahasan

Pengujian tarik dilakukan pada Aluminium seri 6013 T4 awal tanpa proses pengelasan, Aluminium seri 6013 T4 hasil pengelasan dengan bahan pengisi ER 5754, dan Aluminium seri 6013 T4 yang mengalami proses pengelasan serta pemanasan (perlakuan panas) dengan bervariasi waktu aging. Dari pengujian ini didapat kurva tegangan (kgf/mm^2) dan perpanjangan (%), nilai tegangan maksimum (u), nilai perpanjangan (ϵ) dan tegangan luluh (y) didapat dengan menarik garis offset sebesar 0,2% sejajar dengan garis elastis.

Paduan Aluminium seri 6013 yang telah dilakukan pengelasan akan mengalami penurunan sifat mekanik, ini ditandai oleh adanya penurunan nilai dari pengujian tarik yaitu pada material awal mempunyai nilai tegangan maksimum rata-rata $35,3 \text{ kgf/mm}^2$ sedangkan material yang mengalami proses pengelasan tanpa perlakuan panas yaitu nilai tegangan maksimum rata-rata $23,5 \text{ kgf/mm}^2$, sehingga mengalami penurunan tegangan maksimum rata-rata sebesar 40% dibandingkan material awalnya.

Hasil pengujian tarik pada material pengelasan yang telah mengalami pemanasan (perlakuan panas) akan mengalami kenaikan yaitu sekitar 20 % - 90 % atau nilai tegangan maksimum antara (27,9 - 44,3) kgf/mm² dibandingkan material pengelasan yang tidak mengalami pemanasan (perlakuan panas) mempunyai nilai tegangan maksimum antara (23,4 - 23,6) kgf/mm², yaitu pada proses perlakuan panas dengan waktu aging 2 jam mempunyai nilai tegangan maksimum antara (27,9 - 38,6) kgf/mm², pada waktu aging 3 jam mempunyai nilai tegangan maksimum (41,5 - 44,3) kgf/mm², pada waktu aging 4 jam nilai tegangan maksimumnya (35,7 - 42,6) kgf/mm² dan waktu aging 5 jam nilai tegangan maksimumnya (37,2 - 39,3) kgf/mm².

Hasil pengujian tarik tersebut telah memperlihatkan bahwa paduan Aluminium seri 6013 yang mengalami penurunan sifat mekanis akibat proses pengelasan akan ditingkatkan kembali sifat mekanisnya melalui proses perlakuan panas (artificial aging), efek dari waktu aging yang digunakan pada proses perlakuan panas terhadap peningkatan sifat mekanis Paduan Aluminium Seri 6013 adalah variasi dari waktu aging yang digunakan akan memberikan nilai yang berbeda-beda terhadap peningkatan sifat mekanis dari paduan Aluminium seri 6013 T4 yang dilas, hal ini terlihat jika kita ambil nilai rata-rata dari tegangan maksimum masing-masing untuk setiap waktu aging yang digunakan pada proses artificial aging (dapat dilihat pada tabel 3.1.), maka pada saat 2 jam nilai tegangan maksimum rata-rata 32,6 kgf/mm², pada saat 3 jam tegangan maksimum rata-rata 42,9, pada saat 4 jam tegangan maksimum rata-rata 39,6 kgf/mm² dan pada saat 5 jam tegangan maksimum rata-rata 38,6 kgf/mm². Peningkatan sifat mekanis optimum rata-rata dicapai pada saat waktu aging 3 jam yaitu kenaikannya mencapai 90 % dari 23,4 kgf/mm² menjadi 42,9 kgf/mm² dan pada saat waktu aging mencapai lebih dari 3 jam akan mengalami penurunan sifat mekanis (dilihat pada gambar 3.1.).

Pengujian kekerasan pada paduan Aluminium seri 6013 T4 yang dilas akan mengalami peningkatan kekerasan pada daerah logam dasar, daerah lasan dan daerah yang terpengaruh panas (HAZ), setelah paduan tersebut dilakukan proses artificial aging. Peningkatan nilai kekerasan rata-rata terkecil pada daerah lasan, HAZ dan logam dasar dicapai pada saat waktu aging 2 jam yaitu 99 HV pada daerah lasan, 143 HV daerah HAZ serta 156 HV pada daerah logam dasar, sedangkan peningkatan nilai kekerasan rata-rata tertinggi dicapai pada saat aging 5 jam yaitu 142 HV di daerah lasan, 159 HV HAZ serta 182 HV di daerah logam dasar.

Peningkatan kekerasan paduan aluminium seri 6013 T4 yang mengalami proses perlakuan panas (artificial aging) pada daerah logam dasar mencapai (50 - 80) % atau 155 HV - 185 HV, daerah HAZ mencapai 95 % atau 131 HV - 163 HV dan daerah lasan mencapai (30 - 95) % atau 98 HV - 144 HV jika dibandingkan dengan paduan aluminium sebelum dilakukan perlakuan panas (artificial aging) pada daerah logam dasar (96 - 109) HV, daerah HAZ (80 - 85) HV dan daerah lasan (70 - 74) HV.

Pengujian kekasaran permukaan (*surface roughness*) terhadap Aluminium seri 6013 T4 dilakukan terhadap material awal yang tidak dilakukan proses laku panas maupun material yang mengalami proses laku panas dengan memvariasikan waktu aging yaitu, 2, 3, 4 dan 5 jam. Hasil pengujian kekasaran permukaan untuk paduan Aluminium ini dapat dilihat pada tabel 3.3. sedangkan grafik hasil pengujian kekasaran permukaan dapat dilihat pada gambar 3.4. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh dari proses perlakuan panas terhadap sifat mampu mesin dari paduan aluminium seri 6013-T4.

Pada hasil pengujian dapat kita lihat bahwa paduan aluminium yang mengalami proses perlakuan panas akan mengalami peningkatan nilai kekasaran permukaan yang selanjutnya-

mengalami penurunan nilai kekasaran permukaan seiring dengan penambahan waktu aging yang digunakan pada proses artificial aging pada paduan aluminium seri 6013-T4.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Alcoal bahwa paduan Aluminium seri 6013 ini mempunyai sifat mampu mesin dengan nilai C, sehingga hasil pengujian yang diperoleh akan dibandingkan dengan material awal dan dicari nilai yang optimal mendekati nilai dari material awalnya.

Hasil pengujian kekasaran permukaan pada kondisi 2 jam nilai Ra mengalami peningkatan sebesar 47,5 %, nilai Rz mengalami peningkatan sebesar 19,6 %, dan nilai Rmax mengalami penurunan 10,8 % dibandingkan dengan nilai Ra, Rz dan Rmax pada material awal. Pada kondisi 3 jam nilai Ra mengalami peningkatan 17,5 %, nilai Rz mengalami peningkatan 6,5 % dan nilai Rmax mengalami penurunan 4,8 % dibandingkan dengan nilai Ra, Rz dan R max pada material awal. Pada kondisi 4 jam nilai nilai Ra mengalami peningkatan 5 %, nilai Rz mengalami penurunan 30 % dan nilai Rmax mengalami penurunan 53 % dibandingkan dengan nilai Ra, Rz dan R max pada material awal, sedangkan pada kondisi 5 jam Ra mengalami penurunan 12,5 %, nilai Rz mengalami peningkatan 36,4 % dan nilai Rmax mengalami penurunan 53,3 % dibandingkan dengan nilai Ra, Rz dan R max pada material awal. Melihat hasil dari perhitungan prosentase terhadap peningkatan maupun penurunan dari nilai Ra, Rz dan Rmax jika dibandingkan dengan nilai material awal, maka nilai optimal terjadi pada kondisi 3 jam dimana prosentase peningkatan maupun penurunan yang terjadi jika diambil rata-rata secara keseluruhan mempunyai nilai terendah, yaitu $\pm 19,6 \%$, jika dibandingkan pada kondisi 2 jam ($\pm 26 \%$), 4 jam ($\pm 29,3 \%$), dan 5 jam ($\pm 34,1 \%$).

Hasil pengelasan paduan aluminium seri 6013-T4 dapat dibagi menjadi tiga daerah utama, yakni daerah mencair (*fusion zone*), daerah terpengaruh panas (*heat effected zone*, HAZ) dan logam induk (*base metal*). Ketiga daerah ini dikategorikan yang mengalami perubahan selama proses pengelasan maupun perlakuan panas.

Struktur mikro pada daerah mencair (*fusion zone*) berbentuk struktur dendritik, struktur ini terjadi karena laju pendinginan yang lambat. Proses terbentuk struktur dendritik dimulai dari antarmuka (*interface*) antara logam yang tidak ikut mencair dan logam yang ikut mencair, karena adanya gradient temperature yang cukup besar. Gradien temperature yang cukup besar akan menghasilkan *super cooling* yang besar, akibatnya terjadi pertumbuhan butir kolumnar dendritik berlawanan arah dengan arah aliran panas. Pada garis pusat las gradient temperatur rendah sehingga memberikan waktu yang cukup untuk pengkasaran butir pada jarak lengan dendrite. Pada gambar 7 adalah gambar struktur mikro dari paduan aluminium seri 6013-T4 yang mengalami proses pengelasan dan gambar 8 sampai dengan 11 adalah paduan aluminium seri 6013-T4 yang mengalami proses perlakuan panas dengan variasi waktu yang digunakan mulai dari 2, 3, 4 dan 5 jam. Pada gambar 8 sampai dengan 11 terlihat perubahan struktur mikro yang tadinya struktur tersebut mengalami pengkasaran dari presipitat sampai mengalami penghalusan dari presipitatnya. Perubahan bentuk dari struktur ini akan mempengaruhi terhadap distribusi kekerasan dari paduan aluminium seri 6013-T4.

Gambar 7 sampai dengan 11 (gambar pada keterangan 1) memperlihatkan struktur dendritik sedangkan (gambar pada keterangan 2) memperlihatkan batas antara struktur dendritik dan butir *equiakial*. Pada gambar 7 sampai 11 (keterangan gambar 2) terlihat pertumbuhan struktur dendritik kearah pusat pengelasan, sedangkan pada *fusion zone* terlihat adanya seperti pita hitam yang tersebar merata. Pita hitam yang tersebar merata pada *fusion zone* dan batas butir yang tebal pada daerah antar muka (*interface*) antara logam yang tidak ikut mencair

dan logam yang ikut mencair diperkirakan Al-Mg₂Si (ASMH-9).

III Kesimpulan

Dari data-data hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Hasil pengelasan pada paduan Aluminium seri 6013 T4 akan mengalami proses pelunakan ditandai dengan adanya penurunan nilai kekuatan tarik maupun kekerasannya dibandingkan sebelum paduan Aluminium tersebut mengalami proses pengelasan.
2. Paduan Aluminium seri 6013 T4 yang mengalami proses perlakuan panas setelah dilas, maka nilai kekuatan tarik maupun kekerasannya akan meningkat jika dibandingkan paduan aluminium tersebut tidak mengalami proses perlakuan panas.
3. Proses artificial aging yang optimal adalah pada saat waktu aging 3 jam yang memberikan nilai yang optimal terhadap kekuatan tarik pada hasil lasan TIG paduan Aluminium seri 6013 T4 yaitu sebesar 429 MPa (nilai rata-rata kekuatan tarik) dan lewat dari 3 jam kekuatan paduan Aluminium seri 6013 T4 akan turun pada kondisi temperatur yang tetap yaitu 180°C. Jadi semakin lama waktu aging dengan kondisi temperatur yang tetap maka kekuatan akan naik sampai mencapai suatu nilai optimal maka kekuatannya menurun seiring dengan penambahan waktu aging yang digunakan dalam proses perlakuan panas untuk paduan Aluminium seri 6013 T4.
4. Pengaruh proses perlakuan panas setelah pengelasan terhadap struktur mikro akan menghasilkan penghalusan terhadap presipitat.
5. Hasil pengujian kekasaran permukaan diperoleh harga yang optimum pada proses perlakuan panas dengan waktu 3 jam.

Daftar Pustaka

- ASMH-9 ASM Handbook, "Metallography and Microstructures", Vol 9, 9 Edt, ASM Internasional, Material Park, Ohio.
- AhKa04 Ahmad Kafrawi, 2004, "Pengaruh Variasi Jenis Logam Pengisi dan Masukan Panas Pada Pengelasan Aluminium 6013-T4 dengan Proses GTAW Terhadap Sifat Mekanik", Tesis, ITB, Bandung.
- Har_00 Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 2000, "Teknologi Pengelasan Logam", Cetakan kelima, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- SIWa00 Slamet Wahyudi dan Ahmad Efan Nurilmaulidi, "Analisa Pengaruh Variasi Proses Age Hardening Terhadap Sifat Mekanis Hasil Las Paduan Aluminium", Jurnal Teknik, Desember 2000, ISSN 0859-2139.
- VAFv99 VA Fedoseev, Viryasantev, 1999, "Mechanical Properties of Welded Joints in New Deformable Aluminum Alloys", Welding Journal.
- ViZv99 Viryasantev, VA Fedoseev, 1999, "Mechanical Properties of Welded Joints in Aluminum Alloys of The Al-Cu System", Welding Journal.

Sistem Static Inverter Pada Kereta Rel Listrik HOLEC-BN

Taufik Hidayat

Peneliti pada UPT Balai Pengembangan Instrumentasi – LIPI

Abstract. *Static inverter (SIV) system in electric railcar Holec-BN with VVVF (variable voltage variable frequency) technology, change a nominal input voltage 1.500 VDC into output voltage 380 VAC, three phase, 50 Hz, and 110 VDC and 137 VDC. SIV serve voltage as a compressor system, ventilation, light lamps, drive/brake control, etc. Loads that SIV serve it can be stopped to operate in an emergency conditions. This helps a system or loads or system to maintain a working if one of SIV stopped and it is still operated if both SIV have fail. As mentioned above, Holec-BN electric railcar operate two units SIV on each trainset of electric railcar. A frequency of failure and damage of SIV in Holec-BN electric railcar classified a high. In order to reliability of this electric railcar can be maintained on reasonable level, there is need a improvement steps to prevent the failure and damage to continue. Higher reliability is need in order to avoidable the electric railcar also in high so that it have ability to meet a hope for public who use the service in order to obtain railway transportation with safe, secure, comfortable, reliable, punctual, and so on.*

Intisari. *Sistem static inverter (SIV) pada KRL Holec-BN dengan teknologi VVVF (variable voltage variable frequency), mengubah tegangan input nominal 1.500 VDC menjadi tegangan output 380 VAC, tiga fasa, 50 Hz serta 110 VDC dan 137 VDC. SIV melayani beban berupa sistem kompresor, ventilasi, lampu-lampu penerangan, kontrol drive/pengereman, dll. Beban/pengguna daya listrik yang dilayani oleh SIV bisa saja berhenti beroperasi pada saat terjadi kondisi darurat. Ini membantu sistem/beban tersebut tetap bekerja jika salah satu SIV berhenti dan masih beroperasi jika kedua SIV mengalami gangguan. Seperti disebutkan di depan, KRL Holec-BN mengoperasikan dua unit SIV pada setiap trainset KRL. Frekuensi gangguan dan kerusakan SIV pada KRL Holec-BN termasuk tinggi. Supaya keandalan KRL ini dapat dipertahankan pada level yang dapat diterima, maka langkah perbaikan diperlukan guna mencegah gangguan dan kerusakan terus berlanjut. Keandalan yang tinggi diperlukan agar ketersediaan KRL juga tinggi sehingga mampu memenuhi harapan masyarakat pengguna jasa dalam memperoleh angkutan perkeretaapian yang aman, selamat, nyaman, andal, tepat waktu, dll.*

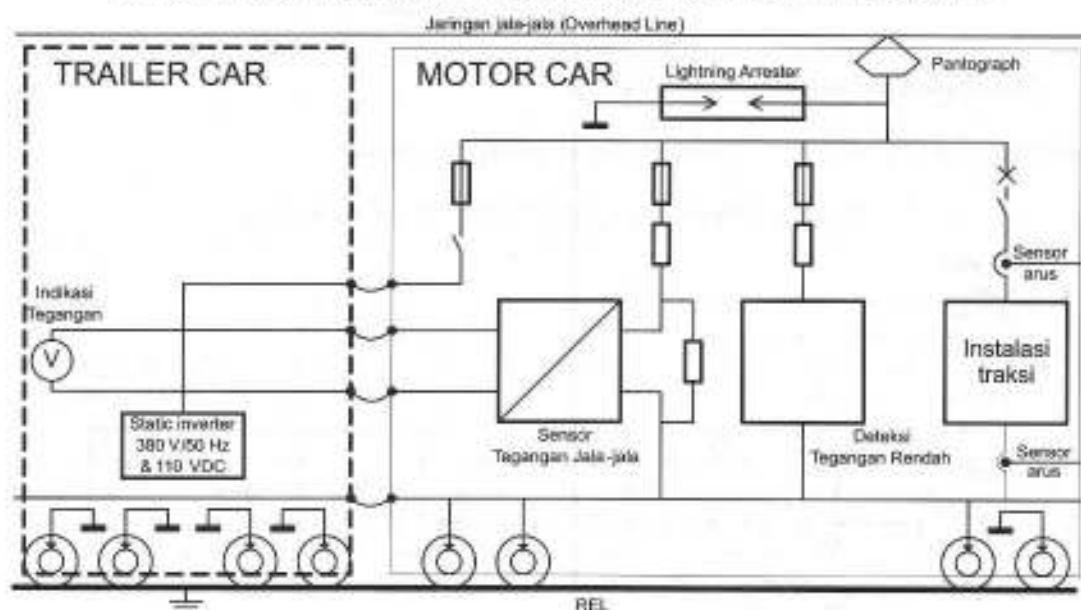
Pendahuluan

Konfigurasi *trainset* KRL Holec-BN dengan teknologi VVVF adalah TC1-MC1-MC2-TC2. TC adalah *trailer car* dan MC adalah *motor car*. SIV diletakkan di bawah lantai TC1 dan TC2. Satu *trainset* dilengkapi dengan dua unit SIV yang digunakan untuk mencatu kompresor udara, lampu-lampu, peralatan kontrol, *battery charging*. Satu unit SIV di TC2 dilengkapi dengan *battery charger*.

Gambar 1 menunjukkan skema distribusi tegangan tinggi pada KRL VVVF Holec-BN. Pada gambar tersebut tampak bahwa ada dua pengguna utama tegangan jala-jala, yaitu instalasi traksi dan SIV. Pada motor car terdapat instalasi traksi, termasuk inverter traksi dan motor traksi. Tulisan ini akan memfokuskan pembahasan pada aspek deskripsi teknis dan deskripsi fungsional SIV pada KRL VVVF Holec-BN, karena populasi KRL ini cukup banyak-

beroperasi di PT Kereta Api Divisi Angkutan Perkotaan Jabodetabek, yaitu sejumlah 128 unit (gerbong), sebelum akhirnya sebagian dimodifikasi menjadi KRDE (kereta rel diesel elektrik) karena kinerjanya kurang memuaskan.

Gambar 1. Skema Distribusi Tegangan Tinggi pada KRL VVVF Holec-BN



Deskripsi Teknis SIV HOLEC-BN

Berbeda dengan sistem SIV pada KRL VVVF Hitachi yang menggunakan teknologi IGBT (insulated-gate bipolar transistor), KRL Holec-BN menggunakan teknologi GTO (gate turn-off) thyristor dan thyristor sebagai komponen saklar utama.

Tabel 1 memuat spesifikasi teknis SIV pada KRL VVVF Holec-BN.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis SIV pada KRL VVVF Holec-BN.[1]

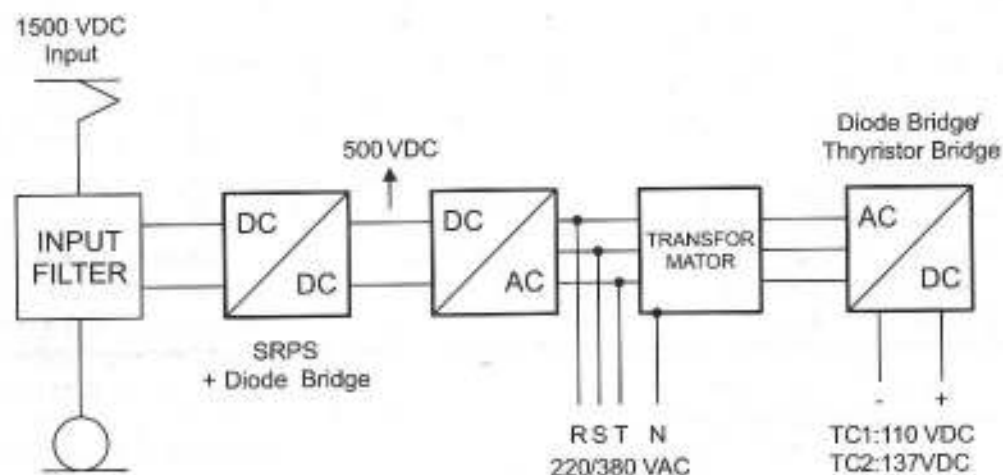
No	Deskripsi Spesifikasi Teknis	Tipe / Nilai
1.	INPUT:	
	(1) Tegangan nominal	1.500 VDC
	(2)Tegangan maksimum	1.800 VDC (+ 20%)
	(3)Tegangan minimum	1.050 VDC (-30%)
2.	OUTPUT 1:	
	(1) Tegangan	AC; 3 Fasa; 380 VAC \pm 5%; 50 Hz \pm 0,5%
	(2)Daya	15 kW
	(3)Faktor daya minimum	0,35
	(4)Distorsi harmonik	30%
	(5)Beban tidak seimbang maks.	1 kVA
(6)Gelombang output	Quasi square wave (isolated)	

3.	OUTPUT 2:	
	(1) Tegangan	110 VDC \pm 5% (TC1); 137 VDC (TC2)
	(2) Daya	9 kW (TC1); 7 kW (TC2)
4.	DIMENSI:	
	(1) Berat	1.000 kg (TC1); 1.080 kg (TC2)

Deskripsi Fungsional SIV HOLEC-BN

Blok diagram SIV KRL VVVF Holec-BN tercantum pada gambar 2.

Gambar 2. Blok diagram SIV KRL VVVF Holec-BN



Bagian-bagian fungsional SIV pada KRL VVVF Holec-BN seperti tercantum pada gambar 2, deskripsinya adalah sbb.: [1]

- Input Filter.**
Input filter menjamin *decoupling* antara inverter *series-resonant* dan jala-jala.
- Resonance Circuit.**
Resonance circuit menjaga stabilisasi, skala dan isolasi elektrikal antara *input* dan *output*. Operasi inverter *series-resonant* berdasarkan pada resonansi rangkaian LC.
- Resonance Transformer.**
Sisi *sekunder resonance transformer* dihubungkan ke *diode bridge rectifier* yang memberikan tegangan DC bagi *interstage circuit*.
- Interstage Circuit Filter.**
Interstage circuit filter yang berbentuk kapasitor mempertahankan *filtering* dan penghalusan *ripple* pada *interstage circuit voltage*.
- Inverter GTO.**
Inverter GTO mengubah *interstage circuit voltage* menjadi tegangan AC tiga fasa.
- Transformator Tiga Fasa.**
Transformator tiga fasa mentransformasikan tegangan AC ke nilai yang lebih rendah untuk penyecarahan, menghasilkan *output DC*. Secara simultan *star point* kumparan sekunder dihubungkan dengan *casing earth*, menentukan *star point* catu arus tiga fasa. Pada inverter di TC1, *output DC* diumpun oleh *diode bridge rectifier* yang terhubung ke transformator tiga fasa. *Output DC* pada inverter di TC2 dihubungkan ke batere. Arus dan tegangan *battery charging* diatur menggunakan sebuah *thyristor bridge*.

Pengguna Daya Listrik SIV

Beban yang dilayani oleh SIV pada KRL VVVF Holec-BN adalah semua pengguna daya listrik selain instalasi traksi. Pengguna daya listrik yang dipasang oleh SIV adalah sbb.: [2]

- (1) Kompresor
- (2) Ventilasi
- (3) Courtesy light
- (4) Lampu-lampu penerangan kabin
- (5) Lampu penerangan depan dan heck light
- (6) Indikasi destinasi
- (7) Kontrol pintu
- (8) Kunci pintu
- (9) Bel pintu
- (10) Sistem pengeras suara
- (11) Kontrol switch-gear
- (12) Instalasi pengereman
- (13) Kontrol drive / pengereman

Deskripsi beberapa pengguna daya listrik yang dipasang oleh SIV adalah sbb.:

(1) Kompresor

Kompresor harus menghasilkan udara yang dibutuhkan untuk mengaktifkan pengereman pneumatik dan pembukaan / penutupan pintu KRL. Kompresor diletakkan pada salah satu trailer car. Jadi satu KRL mempunyai satu kompresor. Kompresor digerakkan oleh motor induksi sangkar tupai tiga fasa. Motor ini dipasang oleh catu daya 380 V. Untuk arus dan daya starting, diberikan oleh inverter 380 V, 50 Hz. Dalam kondisi darurat, pengereman mekanik tidak dapat memberhentikan KRL tanpa bantuan kompresor. Pengereman pneumatik dan pembukaan / penutupan pintu KRL dikontrol secara elektrik.

Daya listrik untuk satu motor kompresor sekitar 15 kW. Arus starting untuk motor induksi adalah:

$$I_{\text{start}} = 6 - 10 \times I_{\text{normal}} \text{ untuk rotor sangkar tunggal.}$$

atau

$$I_{\text{start}} = 2 - 3 \times I_{\text{normal}} \text{ untuk rotor sangkar ganda.}$$

Faktor daya selama starting motor kurang dari operasi normal ($\cos \phi = 0,25$ pada starting), sehingga arus dan daya dapat dihitung.

(2) Ventilasi

Ada dua jenis ventilasi, yaitu ventilasi kabin / di dalam kereta dan ventilasi pada instalasi traksi. Tergantung pada desain motor dan inverter traksi, pendinginan diperoleh dengan ventilasi tekan atau ventilasi sendiri. Inverter traksi secara internal didinginkan oleh sistem pendinginan sendiri. Casing inverter didinginkan oleh kipas angin. Kipas angin tersebut digerakkan oleh motor-motor yang dicatu dari sumber listrik 220 / 380 VAC. Daya yang dibutuhkan untuk ventilasi sekitar 10 kW.

(3) Lampu Penerangan

Ada beberapa jenis sistem penerangan, yaitu penerangan di dalam kereta untuk -

penumpang, penerangan kabin untuk masinis, penerangan depan dan heck light. Sistem penerangan tersebut dicatu secara terpisah.

Penerangan internal (untuk masinis dan penumpang) dapat padam saat darurat dan dicatu oleh batere. Bagian utama penerangan dicatu dari sumber listrik 220 / 380 VAC. Karena alasan keselamatan, penerangan depan dan samping juga dicatu oleh batere. Daya yang dibutuhkan untuk penerangan depan dan samping relatif kecil.

(4) Indikasi Destinasi

Indikasi destinasi dapat dioperasikan secara elektrik, dan membutuhkan daya kecil dari sumber listrik 110 VDC atau 220 / 380 VAC.

(5) Sistem Pengeras Suara

Sistem pengeras suara biasanya beroperasi pada sumber listrik 24 VDC. Jika sumber listrik tersebut tidak tersedia, maka sistem pengeras suara dapat dicatu dengan membuat sendiri konverter 110 VDC atau 220 / 380 VAC. Jika sistem pengeras suara dibutuhkan saat kondisi darurat, maka batere siap mencatu sistem tersebut.

(6) Sistem Kontrol

Sebagian dari daya yang dibutuhkan untuk catu daya bantu disebabkan oleh perbedaan sistem kontrol, seperti kontrol drive / pengereman, kontrol pantograph, kontrol pintu dan kontrol switch-gear. Kebutuhan daya akan diberikan oleh batere jika catu daya bantu mengalami gangguan dan kerusakan. Tidak semua sistem kontrol dicatu oleh catu daya bantu. Beberapa sub-sistem memiliki catu internalnya sendiri untuk sistem kontrol elektronik. Inverter traksi dapat beroperasi tanpa catu daya bantu eksternal. Hanya sinyal-sinyal kontrol, misalnya dari kontrol drive / pengereman yang dibutuhkan.

Guna mengestimasi kebutuhan untuk catu daya bantu yang berbeda, dibutuhkan perhitungan terhadap persyaratan-persyaratan pengguna.

KRL VVVF Holec-BN telah menggunakan konverter bantu untuk keperluan traksi. Konverter ini terdiri dari SRPS (series resonant power supply) dengan inverter GTO dan penyearah (un)controlled.

Pada kondisi konverter SRPS mengalami gangguan, maka dibutuhkan batere yang harus ditentukan kapasitas totalnya. Sistem/beban yang dipertahankan tetap beroperasi akan mempengaruhi kapasitas batere. Sistem/beban yang termasuk dalam kategori penting untuk tetap beroperasi adalah penerangan darurat, kontrol drive / pengereman, kontrol switch-gear, kontrol pantograph, penerangan depan, heck light, dan sistem pengeras suara. Sistem/beban tersebut dibutuhkan untuk memberhentikan KRL dengan cara yang aman, dan mematikan (shut down) sistem yang mengalami kerusakan.

Penumpang harus diberi informasi bahwa KRL tetap beroperasi, sehingga memungkinkan bagi penumpang meninggalkan KRL dengan aman. Kedua SIV akan berhenti beroperasi jika tegangan jala-jala berhenti beroperasi.

Jika hanya satu SIV yang mengalami gangguan, maka beban-beban yang non-preferensial (tidak istimewa) dapat diputus. Penerangan utama KRL dapat dimatikan. Kompresor dan ventilasi traksi tetap beroperasi. Daya total yang dibutuhkan oleh satu SIV sekurang-kurangnya sama dengan kebutuhan daya untuk beban-beban preferensial.

Di sisi lain, SRPS dan inverter GTO harus mencatu konsumsi daya total 220/380 VAC, termasuk konsumsi daya 110 VDC.

Tidak semua beban/pengguna sumber listrik dari SIV dapat digunakan pada saat bersamaan. Sebagai contoh, kompresor dapat di-start, sementara tidak ada lampu yang digunakan. Penting untuk menentukan penggunaan daya simultan maksimum, bukan dengan menghitung daya total yang terpasang.

Gangguan Dan Kerusakan SIV KRL VVVF HOLEC-BN

Jenis gangguan dan kerusakan yang terjadi pada SIV KRL VVVF Holec-BN yang telah beroperasi sejak tahun 1994 di PT Kereta Api Divisi Angkutan Perkotaan Jabodetabek tercantum pada tabel 2.

Tabel 2. Gangguan dan Kerusakan SIV KRL VVVF Holec-BN.[3],[4],[5]

No	Gangguan & Kerusakan pada Sistem	Jenis Gangguan & Kerusakan	Keterangan
1.	GTO Hatch	(1) GTO terbakar/hubung singkat	
		(2) Komponen PCB rusak	
		(3) Pemasangan konektor ke pulsa trafo tidak benar	
2.	SRPS Hatch	(1) Thyristor rusak	
		(2) Dioda rusak	
		(3) Sekering putus	
3.	Sistem Kontrol	(1) PCB-BRO	Kerusakan: 24%
		(2) PCB-BTB3A	Kerusakan: 13%
		(3) PCB-BGI3A	Kerusakan: 9%
		(4) PCB-VGI1A/VGI2A	Kerusakan: 30%
		(5) PCB-GFA2A	Kerusakan: 9%
		(6) PCBGFA2B	Kerusakan: 7%

Kesimpulan

Frekuensi gangguan dan kerusakan SIV pada KRL VVVF Holec-BN menduduki peringkat kedua setelah gangguan dan kerusakan VVVF Inverter. Seperti halnya terjadi pada VVVF inverter, gangguan dan kerusakan pada SIV juga selalu muncul, bahkan pada produk SIV yang baru terpasang.

Penyebab utama gangguan dan kerusakan SIV relatif sama dengan VVVF inverter, yaitu kerusakan GTO sebagai akibat penggunaan kapasitor yang tidak sesuai. Bahkan gangguan dan kerusakan pada komponen pendukung SIV relatif sama dengan gangguan dan kerusakan yang dialami oleh VVVF inverter. Dengan demikian, langkah perbaikan SIV juga relatif sama dengan langkah perbaikan VVVF inverter.

Kerusakan yang terjadi pada SIV disebabkan oleh kesalahan desain dan kualitas pengerjaan saat proses manufaktur. Tanggung jawab desainer dan manufaktur berasal dari Eropa, yaitu Holec-BN (Belanda-Belgia).

Daftar Pustaka

1. Overview of the Existing Auxiliary Converters in Indonesian Railway Corporation, Taufik Hidayat, Iman Setiawan, Bandung, November 1999.
2. Technical Training Courses, Hogeschool Rotterdam & Omstreken Polytechnische Faculteit, Kenniscentrum, The Netherlands, May 1990.
3. Overview Kerusakan KRL Holec-BN, Divisi Elektronika Daya PT LEN Industri, Bandung, 1999.
4. Laporan Hasil Investigasi Keluhan Pelanggan KRL BN/Holec Tahun 1996 s/d 1998, PT Industri Kereta Api, Madiun, 12 Januari 1999
5. Problem KRL BN-Holec, PT Kereta Api Divisi Angkutan Perkotaan Jabodetabek, Jakarta, 16 Maret 2006.

Klasifikasi Suara Manusia Dengan Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Dan Algoritma Levenberg-Marquadt

Gunawan Abdillah

Dosen tetap jurusan informatika F-MIPA UNJANI

Abstrak. Teknologi pengenalan suara saat ini telah mengalami perkembangan terutama dalam hal *speech processing*. *Speech processing* merupakan suatu cara untuk mengekstrak informasi yang diinginkan dari sebuah sinyal suara. Penelitian ini membahas sistem klasifikasi suara manusia *male* dan *female*. Mengekstrak ciri dari sinyal suara setiap frame pada domain waktu dan frequency domain sangat membantu untuk menyederhanakan dan mempercepat perhitungan. Adapun fitur-fitur untuk suara atau audio antara lain *Short Time Energy*, *Zero Crossing Rate*, *Spectral Centroid* dan lain-lain. Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa klasifikasi suara manusia dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* dan algoritma *Levenberg-Marquadt* untuk perubahan matriks bobotnya sangat baik dan cepat karena kompleksitas perhitungan yang tidak terlalu tinggi. Database sample suara sebanyak 40 buah dengan data test sebanyak 4 suara. Output dari sistem adalah hasil klasifikasi yang telah dikenali dengan nilai kemiripan 0,5 sebagai *male* dan $< 0,5$ sebagai *female*.

Kata Kunci : *Feature Extraction*, Klasifikasi, *Backpropagation*, Algoritma *Levenberg Marquadt*

Latar Belakang

Teknologi pengenalan suara saat ini telah mengalami perkembangan yang cukup pesat. Banyak aplikasi-aplikasi yang telah dihasilkan seiring dengan metode dan proses dari pengenalan suara tersebut. Dari perkembangan teknologi pengolahan sinyal suara ini didapatkan ide untuk membuat aplikasi yang dapat digunakan untuk membedakan atau mengklasifikasikan suara manusia.

Clustering merupakan salah satu dari aplikasi proses *digital signal processing* (pengolahan sinyal digital) termasuk didalamnya *Speech Recognition*. Pada penelitian ini, dibuat sebuah program yang dapat meng-*cluster* sejumlah sample suara dengan fitur-fitur suara yang direpresentasikan secara numerik. Implementasi sistem klasifikasi suara manusia ini menggunakan MATLAB. Pada MATLAB tersedia toolbox-toolbox yang berguna untuk membuat aplikasi kluster suara manusia, yaitu *Audio Signal Processing* dan *Neural Net*.

Data *training* diperoleh dari file-file suara statis berformat wave. Data *training* tersebut akan diekstrak cirinya untuk didapatkan *feature*-nya. *Feature* inilah yang akan digunakan untuk klasifikasi suara manusia berdasarkan gender pria (*male*) dan wanita (*female*). Untuk *training* data suara hasil ekstraksi *feature* digunakan jaringan syaraf tiruan *backpropagation*. Adapun perubahan bobotnya menggunakan algoritma *Levenberg-Marquadt*.

Tinjauan Pustaka

1 *Speech Processing*

Suara adalah suatu sinyal yang sangat dipengaruhi oleh frekuensi dan merupakan bentuk sinyal diskrit yang sangat dipengaruhi oleh waktu. *Speech processing* mengekstrak informasi-

yang diinginkan dari sebuah sinyal suara. Untuk memproses sebuah sinyal dengan sebuah komputer digital, sinyal harus dihadirkan dalam bentuk digital sehingga sinyal tersebut dapat digunakan oleh sebuah komputer digital.

Awalnya, gelombang suara akustik diubah ke sebuah sinyal digital sesuai untuk *voice processing*. Sebuah microphone atau telephone handset dapat digunakan untuk merubah gelombang akustik ke dalam sebuah sinyal analog. Sinyal analog ini dikondisikan dengan *antialiasing filtering*. *Antialiasing filter* membatasi *bandwidth* sinyal menjadi kira-kira *Nyquist rate* sebelum sampling. Sinyal analog terkondisikan kemudian diubah ke dalam bentuk sebuah sinyal digital oleh sebuah *analog-to-digital (A/D) converter*.

2 FFT (Fast Fourier Transform)

Transformasi *fourier* adalah suatu metode yang sangat efisien untuk menyelesaikan transformasi *fourier* diskrit yang banyak dipakai untuk keperluan analisa sinyal seperti pemfilteran, analisa korelasi, dan analisa spectrum. *Diskrit Fourier Transformasi (DFT)* adalah deretan yang terdefinisi pada kawasan frekuensi diskrit yang merepresentasikan Transformasi *Fourier* terhadap suatu deretan terhingga (*finite duration sequence*). *DFT* berperan penting untuk implementasi algoritma suatu varitas pengolahan sinyal, karena efisien untuk komputasi berbagai aplikasi.

Fast fourier Transformation atau transformasi *Fourier* cepat, merupakan proses lanjutan dari *DFT (Diskrit Fourier Transformation)*. Transformasi *Fourier* ini dilakukan untuk mentransformasikan sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Hal ini bertujuan agar sinyal dapat diproses dalam spectral substraksi.

FFT adalah bentuk khusus dari persamaan integral *fourier* :

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j2\pi kn/N}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

Dalam proses *fast fourier transform* akan menghasilkan dua buah nilai yaitu nilai real dan nilai imajiner. Dan untuk proses selanjutnya dibutuhkan nilai real saja untuk itu diperlukan proses mutlak log.

3 Feature Extraction

Mengekstrak ciri dari sinyal suara setiap frame pada *time domain* dan *frequency domain* sangat membantu untuk menyederhanakan dan mempercepat perhitungan serta mempermudah interpretasi secara fisik. Ciri-ciri ini termasuk level standar deviasi dan rata-rata standar deviasi. Adapun fitur-fitur untuk suara atau audio, antara lain *Short Time Energy*, *Zero Crossing Rate*, *Spectral Centroid*, *Spectral Flux*, *Bandwith*, *Cepstral Coefficient*, *Delta Spectrum*, *Root Mean Square*, *High Feature Value Ratio*, *Low Feature Value Ratio*, *Spectral Spread*, *Spectral RollOff* dan lain-lain.

3.1 Spectral Centroid

Menyeimbangkan titik ukuran spectrum dari bentuk asosiasi spectral dengan *spectral brightness*. Nilai *centroid* yang tinggi menunjukkan frekuensi yang tinggi.

$$C = \frac{\sum_{n=1}^N M_t[n] \cdot n}{\sum_{n=1}^N M_t[n]}$$

3.2 Zero Crossing Rate

Zero crossing merupakan sample berurutan pada sebuah sinyal digital yang memiliki perbedaan tanda, ukuran dari noise sebuah sinyal pada fitur *time domain*.

$$ZCR = \frac{1}{N} \sum_{n=2}^N |\text{sign}(x(n)) - \text{sign}(x(n-1))|$$

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1, x > 0 \\ 0, x = 0 \\ -1, x < 0 \end{cases}$$

3.3 Short Time energy

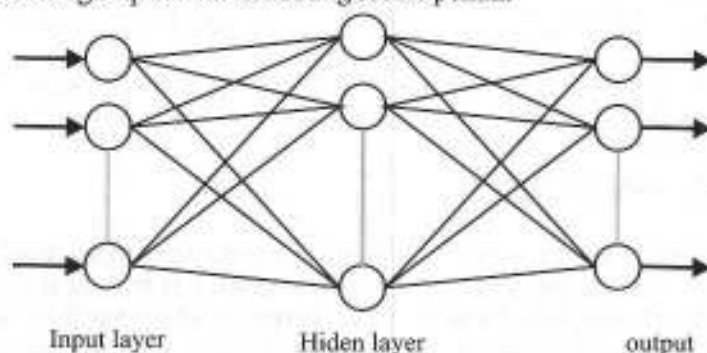
$$STE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x(n)^2$$

4 Backpropagation Neural Network

Backpropagation merupakan salah satu algoritma yang sering digunakan dalam menyelesaikan masalah-masalah yang rumit. Hal ini dimungkinkan karena jaringan dengan algoritma ini dilatih dengan menggunakan metode belajar terbimbing. Pada jaringan diberikan sepasang pola yang terdiri atas pola masukan dan pola yang diinginkan. Ketika suatu pola diberikan pada jaringan, bobot-bobot diubah untuk memperkecil perbedaan pola.

Algoritma pelatihan jaringan saraf backpropagation terdiri atas dua langkah, yaitu perambatan maju dan perambatan mundur ini dilakukan pada jaringan untuk setiap pola yang diberikan selama jaringan mengalami pelatihan.

Jaringan backpropagation terdiri atas tiga lapisan atau lebih unit pengolahan. Gambar 1 menunjukkan jaringan backpropagation dengan tiga lapisan pengolahan, bagian kiri sebagai masukan, bagian tengah disebut sebagai lapisan tersembunyi dan bagian kanan disebut lapisan keluaran. Ketiga lapisan ini terhubung secara penuh.



Gambar 1. Struktur Jaringan Syaraf

Perambatan maju dimulai dengan memberikan pola masukan ke lapisan masukan. Pola masukan ini merupakan nilai aktivasi unit-unit masukan. Dengan melakukan perambatan maju dihitung nilai aktivasi pada unit-unit di lapisan berikutnya. Pada setiap lapisan, tiap unit pengolah melakukan penjumlahan berbobot dan menerapkan fungsi sigmoid untuk menghitung keluarannya.

Untuk menghitung nilai penjumlahan berbobot digunakan rumus :

$$S_j = \sum_{i=0}^n a_i \cdot w_{ji}$$

Dengan :

a_i = masukan yang berasal unit i

w_{ji} = bobot sambungan dari unit i ke unit j

Setelah nilai S_j dihitung, fungsi sigmoid diterapkan pada S_j untuk membentuk $f(S_j)$. Fungsi sigmoid ini mempunyai persamaan :

$$f(S_j) = \frac{1}{1 + e^{-S_j}}$$

Hasil perhitungan $f(S_j)$ ini merupakan nilai aktivasi pada unit pengeolah j . Nilai ini dikirimkan keseluruhan keluaran unit j . Setelah perambatan maju dikerjakan maka jaringan siap melakukan perambatan mundur.

Jaringan perambatan mundur dilatih dengan metode belajar terbimbing. Pada metode ini jaringan diberi sekumpulan pasangan pola yang terdiri dari pola masukan dan pola yang diinginkan (*target*). Pelatihan dilakukan berulang-ulang sehingga dihasilkan jaringan yang memberikan tanggapan yang benar terhadap semua masukannya.

Pembelajaran atau *learning process* merupakan sarana pelatihan untuk mendapatkan nilai bobot yang sesuai pada setiap node yang membentuk jaringan syaraf tiruan (ANN). Data akan dibagi menjadi 2 bagian yang pertama untuk digunakan sebagai proses pembelajaran yang disebut dengan data training dan yang bagian kedua untuk proses pengujian yang disebut data testing. Untuk kasus di atas pola pembelajaran dan pengujiannya dapat diuraikan sbb:

- ❖ Memasukan sejumlah data berupa nilai angka pada node input dan output
- ❖ Menggunakan algoritma pembelajaran back propagation dan algoritma Levenberg-Marquadt untuk melakukan update nilai bobot pada node di lapisan hiddennya
- ❖ Bila proses belajar sudah mencapai konvergen, nilai bobot tersebut akan disimpan dan untuk diujikan kembali untuk data yang sama
- ❖ Melakukan pengujian dengan menggunakan data yang berlainan dengan proses pembelajaran

5 Algoritma Levenberg-Marquadt

Algoritma *Levenberg-Marquadt* merupakan algoritma yang sudah terkenal sebagai algoritma optimasi. Algoritma ini didapatkan dari hasil turunan gradien sederhana dan metode gradien lainnya yang berhubungan pada suatu masalah. *Levenberg-Marquardt* merupakan metode alternatif yang populer selain metode *Gauss-Newton* untuk mencari minimum dari suatu fungsi $F(x)$ non linier.

$$F(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m [f_i(x)]^2$$

Dimana $x = x_1, x_2, x_3, \dots$ yang merupakan vector dan f_i merupakan fungsi dari R^n ke R , f_i menunjukkan sisa (*residual*) dan diasumsikan $m = n$.

Agar lebih sederhana, maka F direpresentasikan sebagai vector sisa (*residual vector*)

$$f: R^n \rightarrow R^n$$

$$f(x) = (f_1(x), f_2(x), f_3(x), \dots, f_n(x))$$

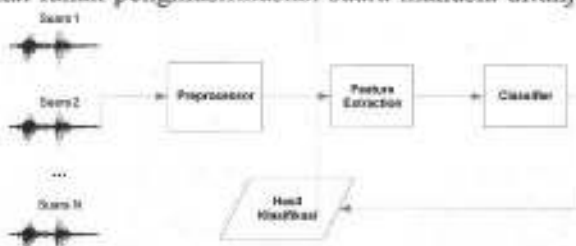
Algoritma *Levenberg-Marquadt* menggunakan matrix Jacobi. Dimisalkan f_i ditandai dengan $J_i(x)$ maka metode *Levenberg-Marquadt* akan mencari langkah yang tepat untuk memberikan solusi p dari persamaan (*equation*).

$$(J_k^T J_k + \lambda_k I) p_k = -J_k^T f_k$$

Di mana nilai scalar λ_k bukan negatif dan I merupakan matriks identitas.

Hasil Dan Pembahasan

Sistem kerja perangkat lunak pengklasifikasian suara manusia ditunjukkan pada gambar 2 berikut:

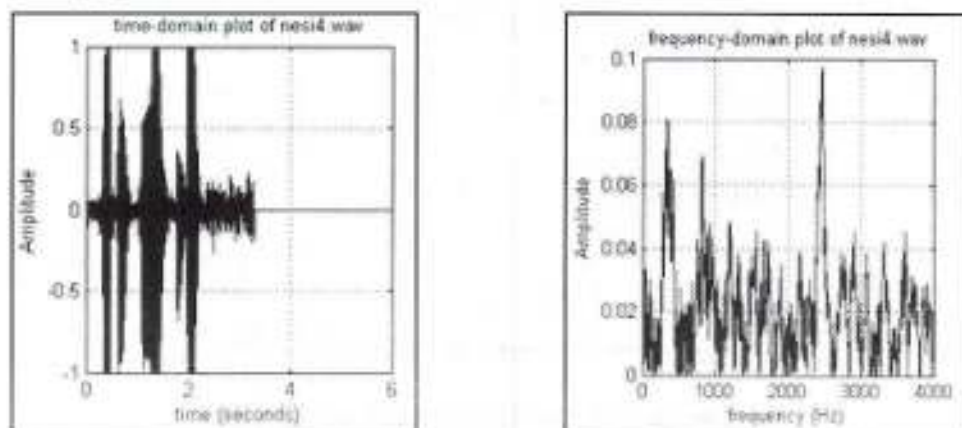


Gambar 2. Diagram Blok Klasifikasi Suara Manusia

Preprocessor

Pada bagian pre-processor, diperlukan perangkat-perangkat pendukung untuk melakukan pengolahan suara. Perangkat multimedia pendukung, yaitu sound card, speaker active dan microphone. Suara-suara yang diambil dari perangkat pendukung ini disimpan dalam format file wave. File berformat wave merupakan inputan bagi program ini.

Hasil dari preprocessor:



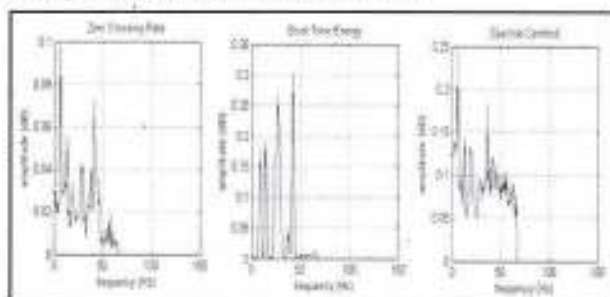
Gambar 3. Time Dan Frequency domain dari file nesi4.wav

Ekstraksi Ciri

Feature Extraction pada jurnal ini menggunakan 3 ciri, dengan dua fitur *Time Domain* dan satu fitur *Frequency Domain*. Adapun ciri atau fitur yang digunakan pada feature extraction ialah

- ❖ Fitur Time Domain: *Zero Crossing Rate* dan *Short Time Energy*
- ❖ Fitur Frequency Domain: *Spectral centroid*.

Adapun tampilan grafiknya dapat dilihat sebagai berikut:



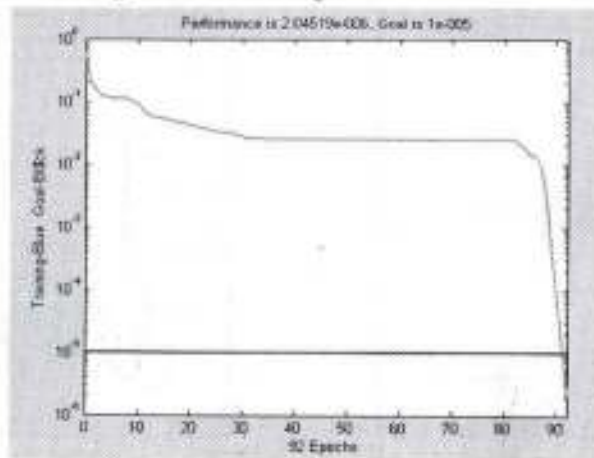
Gambar 4. Feature suara "nesi4.wav"

Ketiga ciri tersebut dihitung untuk semua sample suara yang dalam hal ini terdapat 40 sample suara. Masing-masing ciri didapatkan standar deviasi dan rata-rata sehingga membentuk ciri data suara 6 dimensi.

Percobaan dilakukan dengan melakukan *training* data untuk 40 sample suara yang diekstrak cirinya. Keseluruhan *feature* dari data *training*, dijadikan data input pada jaringan syaraf tiruan *backpropagation* dengan perubahan bobot matriksnya menggunakan Algoritma *Levenberg-Marquadt*. Jaringan syaraf tiruan *backpropagation* dirancang untuk 6 input, 6 unit layer tersembunyi (*hidden layer*), 1 unit output dan fungsi aktivasi *sigmoid*. Maksimum iterasi (*epoch*) yang dilakukan adalah 1000 kali dengan *learning rate* 0,1.

Jaringan syaraf tiruan ini ditentukan secara *supervised* (pelatihan terbimbing) untuk membedakan suara pria (*male*) dan suara wanita (*female*). Sebagai targetnya untuk *male* adalah 1 dan *female* adalah 0. klasifikasi output yang dihasilkan ialah untuk *male* 0,5 dan *female* <0,5.

Hasil pelatihan mengalami konvergensi tercepat hanya melalui 92 *epoch*. Adapun grafik pada saat pelatihan jaringan konvergensi adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Grafik Konvergensi terbaik

Sedangkan hasil pelatihan dengan 40 data sample suara adalah sebagai berikut:

NO	Nama File	std ZCR	mean ZCR	std STE	mean STE	std SC	mean SC	Hasil	Cluster	Keterangan
1	nesi1.wav	0,023730	0,020200	0,051838	0,050018	0,041820	0,109316	0,0000	Female	Berhasil
2	nesi2.wav	0,023089	0,027556	0,060161	0,034566	0,045273	0,106809	0,0001	Female	Berhasil
3	nesi3.wav	0,011613	0,022843	0,122127	0,084569	0,023433	0,087313	0,0000	Female	Berhasil
4	nesi4.wav	0,017669	0,023440	0,078219	0,048713	0,032818	0,092258	0,0018	Female	Berhasil
5	ednofi1.wav	0,033071	0,026682	0,046726	0,026043	0,041055	0,096620	1,0000	Male	Berhasil
6	ednofi2.wav	0,039708	0,030886	0,048695	0,027065	0,050672	0,105170	0,9986	Male	Berhasil
7	ednofi3.wav	0,026037	0,024439	0,047040	0,025282	0,041596	0,097089	1,0000	Male	Berhasil
8	ednofi4.wav	0,030507	0,024865	0,073055	0,036762	0,035571	0,094021	1,0000	Male	Berhasil
9	davi1.wav	0,027513	0,021344	0,049431	0,027118	0,035595	0,085672	1,0000	Male	Berhasil
10	davi2.wav	0,029937	0,025611	0,075367	0,036803	0,036567	0,098210	1,0000	Male	Berhasil
11	davi3.wav	0,024548	0,025686	0,095128	0,042284	0,033063	0,103253	1,0000	Male	Berhasil
12	davi4.wav	0,023269	0,025393	0,066233	0,033101	0,039769	0,098462	1,0000	Male	Berhasil
13	sofyan1.wav	0,015088	0,025246	0,130075	0,065757	0,035347	0,100256	0,9985	Male	Berhasil
14	sofyan2.wav	0,020387	0,021691	0,128442	0,064249	0,032297	0,094849	1,0000	Male	Berhasil
15	sofyan3.wav	0,031652	0,025949	0,117575	0,063370	0,039712	0,098799	1,0000	Male	Berhasil
16	sofyan4.wav	0,019919	0,022289	0,137526	0,068748	0,036137	0,100233	1,0000	Male	Berhasil
17	gunawan1.wav	0,048244	0,033842	0,056490	0,029438	0,052182	0,113318	0,9984	Male	Berhasil
18	gunawan2.wav	0,038587	0,029922	0,079396	0,045345	0,046280	0,093854	1,0000	Male	Berhasil
19	gunawan3.wav	0,038188	0,025810	0,072721	0,038609	0,046374	0,099503	1,0000	Male	Berhasil
20	gunawan4.wav	0,044965	0,029239	0,092387	0,045855	0,050673	0,101057	1,0000	Male	Berhasil
21	herlambang1.wav	0,021168	0,020672	0,079291	0,034514	0,034983	0,103224	0,9999	Male	Berhasil
22	herlambang2.wav	0,012413	0,023890	0,105226	0,021268	0,030433	0,098875	0,9974	Male	Berhasil
23	herlambang3.wav	0,012300	0,021648	0,069936	0,032585	0,033322	0,095829	1,0000	Male	Berhasil
24	herlambang4.wav	0,038107	0,026754	0,112719	0,054228	0,028632	0,102674	1,0000	Male	Berhasil
25	hendy1.wav	0,030022	0,022079	0,072746	0,051692	0,034424	0,103500	1,0000	Male	Berhasil
26	hendy2.wav	0,024552	0,022782	0,067975	0,028431	0,034017	0,098336	1,0000	Male	Berhasil
27	hendy3.wav	0,023379	0,022064	0,121424	0,069475	0,030819	0,091675	1,0000	Male	Berhasil
28	hendy4.wav	0,028329	0,028174	0,115847	0,050776	0,040468	0,107519	1,0000	Male	Berhasil
29	retno1.wav	0,028382	0,020657	0,086674	0,034091	0,038329	0,118073	0,0062	Female	Berhasil
30	retno2.wav	0,014153	0,027709	0,081679	0,041718	0,022235	0,115709	0,0000	Female	Berhasil
31	retno3.wav	0,011680	0,026482	0,086195	0,042591	0,029399	0,110554	0,0004	Female	Berhasil
32	retno4.wav	0,016262	0,031870	0,056717	0,026421	0,034494	0,122323	0,0000	Female	Berhasil
33	susapio1.wav	0,044199	0,026211	0,129537	0,079286	0,054996	0,097207	0,9999	Male	Berhasil
34	susapio2.wav	0,028959	0,026486	0,051596	0,026694	0,045678	0,103824	0,9993	Male	Berhasil
35	susapio3.wav	0,035152	0,025824	0,077810	0,057894	0,045402	0,105760	1,0000	Male	Berhasil
36	susapio4.wav	0,012251	0,021480	0,044695	0,021365	0,034944	0,096401	1,0000	Male	Berhasil
37	arif1.wav	0,018911	0,025345	0,044096	0,023708	0,037532	0,105399	0,9994	Male	Berhasil
38	arif2.wav	0,022112	0,024091	0,070131	0,041114	0,037771	0,098052	0,9999	Male	Berhasil
39	arif3.wav	0,020303	0,024131	0,047895	0,024834	0,033079	0,098503	1,0000	Male	Berhasil
40	arif4.wav	0,019052	0,023597	0,066474	0,038902	0,031472	0,092382	0,9943	Male	Berhasil

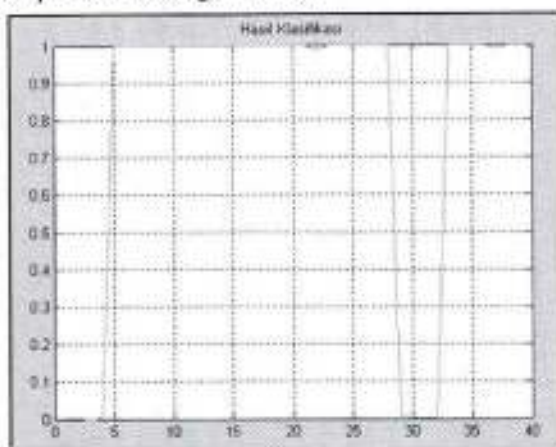
Keterangan:

ZCR = Zero Crossing Rate

STE = Short Time Energy

SC = Spectral Centroid

Jaringan mengenali 100% dari data yang dilatihkan, ditunjukkan oleh hasil keluaran yang ditampilkan oleh komputer sesuai dengan target yang telah ditentukan. Adapun grafik hasil keluaran dari 40 data sample suara sebagai berikut:



Gambar 6. Grafik hasil klasifikasi

Kemudian jaringan diuji dengan 4 data baru untuk menentukan seberapa besar jaringan mampu mengklasifikasikan suara. Berikut hasil pengujiannya:

Tabel 2. Tabel Hasil Pengujian dari 4 sample suara baru

NO	Nama File	std ZCR	Mean ZCR	std STE	Mean STE	std SC	Mean SC	Hasil	Cluster	Keterangan
1	Test_arif.wav	0,01910	0,02360	0,06650	0,03890	0,03150	0,0924	0,9998	Male	Berhasil
2	Test_nesi.wav	0,02370	0,02820	0,05380	0,03000	0,04180	0,1091	1,270E-05	Female	Berhasil
3	Test_edrofi.wav	0,03310	0,02670	0,04670	0,02600	0,04110	0,099	1,0000	Male	Berhasil
4	Test_rinto.wav	0,02840	0,02970	0,08670	0,03410	0,03830	0,1181	0,0030	Female	Berhasil

Hasil pengujian menunjukkan bahwa empat data test tersebut sesuai dengan target.

Kesimpulan

1. Sistem klasifikasi suara menggunakan jaringan syaraf tiruan *Backpropagation* dan algoritma *Levenberg-Marquadt* berjalan sangat baik dan cepat karena kompleksitas perhitungan yang tidak terlalu tinggi.
2. Keunggulan sistem jaringan syaraf tiruan antara lain pada proses cepat, akurat dan minimalisasi kesalahan.
3. Sebagai langkah pengembangan agar didapatkan hasil yang optimal, jaringan perlu dilatihkan dengan data berjumlah banyak dan bervariasi sehingga tingkat akurasi meningkat.

Daftar Pustaka

- 1 Berghen, Frank Vanden, *Levenberg-Marquardt algorithms vs Trust Region algorithms*, IRIDIA, University Libre de Bruxelles, November 12, 2004
- 2 Deller, Proakis and Hansen (1993), *Discrete-Time Processing of Speech Signals*, Prentice Hall
- 3 Duane Hanselman, Bruce Littlefield, 2002, *MATLAB, Bahasa Komputasi Teknis*, Pearson Education Asia dan Penerbit Andi, Yogyakarta.
- 4 Fausett, Lauren., *Fundamentals of Neural Networks Architectures, Algorithms, and Applications*, Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall, 1994.
- 5 Giannakopoulos, Theodoros (2006), *Some Basic Audio Features*, Department of Informatics and Telecommunications University of Athens, Greece, www.di.uoa.gr/~tyiannak
- 6 Gill, P. R.; Murray, W.; and Wright, M. H. *The Levenberg-Marquardt Method.*, in *Practical Optimization*. London: Academic Press, pp. 136-137, 1981.
- 7 Hermawan, Arief (2006), *Jaringan Saraf Tiruan Teori dan Aplikasi*, Andi Offset, Yogyakarta.
- 8 Kristian Sandberg, 2001, *An overview of Fourier analysis for signal processing*, Dept. of Applied Mathematics, University of Colorado at Boulder, <http://amath.colorado.edu/courses/3310/2001fall/Improc/Webpages/fourier/fourier.css>.
- 9 Levenberg, K. *A Method for the Solution of Certain Problems in Least Squares*. Quart. Appl. Math. Vol. 2, pp. 164-168, 1944.
- 10 Marquardt, D. *An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters*. SIAM J. Appl. Math. Vol. 11, pp. 431-441, 1963.
- 11 Rabiner dan Juang (1993), *Fundamentals of Speech Recognition*, Prentice Hall
- 12 Siang, Jong Jek, Drs., M.Sc. (2005), *Jaringan Syaraf Tiruan & Pemrogramannya Menggunakan Matlab*, Andi Offset, Yogyakarta.
- 13 *Speech Coding in MATLAB*, <http://www.eas.asu.edu/~speech/education/educ1.html>

Analisis Jaringan Angkutan Kota Di Kota Cimahi

Ferry Rusgiyanto

Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Achmad Yani

Abstrak. Angkutan kota merupakan sarana transportasi yang paling penting dalam menunjang mobilitas penduduk terutama untuk penggunaan jasa angkutan. Angkutan kota ini pada setiap harinya selalu mengangkut penumpang terutama pada jam-jam sibuk yaitu pada pagi dan sore hari. Untuk dapat menyediakan pelayanan angkutan kota yang efektif dan efisien maka diperlukan perencanaan operasional pelayanan angkutan kota dengan sebaik mungkin, oleh karena itu maka diperlukan adanya evaluasi mengenai jaringan angkutan kota untuk mengetahui apakah karakteristik pelayanan angkutan kota serta daerah pelayanan yang terlayani sudah memenuhi syarat yang diijinkan.

Telah dilakukan analisa mengenai jaringan angkutan kota di Kota Cimahi dengan lingkup penelitian mengenai karakteristik pelayanan angkutan kota seperti waktu antara kendaraan (*headway*), faktor muat (*load factor*), frekuensi, faktor keterisian kendaraan (*occupancy factor*), kecepatan dan waktu tempuh.

Hasil analisis ini menunjukkan bahwa di beberapa jalur trayek angkutan kota tertentu karakteristik pelayanannya tidak sesuai dengan syarat-syarat yang diijinkan, jadi perlu dilakukan perbaikan karakteristik pelayanan yang sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan. Seperti hasil dari survai dilapangan diketahui bahwa nilai waktu antara (*headway*) rata-rata tiap trayek angkutan kota sebesar 1 menit, kecuali untuk trayek Ledeng - Cimahi (karena trayek ini memiliki supply armada yang lebih sedikit) hal ini tidak memenuhi ketentuan nilai waktu antara yang seharusnya dimana waktu antara pada jam puncak yaitu 2-5 menit. Sedangkan untuk faktor muat (*load factor*) tiap trayek tidak ada yang melebihi 50 % bahkan banyak trayek yang faktor muatnya dibawah 50% nilai ini masih jauh dibawah nilai yang ideal yaitu sebesar 70%. Hal ini disebabkan rata-rata jumlah penumpang yang kecil sehingga armada yang tersedia banyak yang kosong. Sedangkan untuk faktor keterisian (*occupancy factor*) hasil survai dapat diketahui bahwa jumlah penumpang maksimum yang ada sebanyak 13 penumpang, hal ini tidak sesuai dengan ketentuan pedoman teknis penyelenggaraan angkutan penumpang umum menurut Departemen Perhubungan Darat, dimana kapasitas jumlah penumpang mobil penumpang umum (MPU) adalah 8 penumpang dan faktor muatnya ideal yaitu 70%.

Dari hasil analisa ini menunjukkan bahwa kondisi jaringan angkutan kota di Kota Cimahi diperlukan kajian yang lebih lanjut lagi untuk memperbaiki kinerja pelayanan angkutan kota sesuai dengan persyaratan yang ditentukan. Hasil pemodelan yang dilakukan mengindikasikan adanya zona yang terlayani dengan waktu tempuh yang besar, sehingga disarankan untuk melakukan kajian lebih lanjut dalam pengaturan trayek sehingga antar zona dapat dilayani oleh angkutan kota dan trayek-trayek tumpang tindih bisa diselesaikan.

Kata Kunci : angkutan kota, kinerja, trayek

1 Pendahuluan

Angkutan umum sebagai pelayanan publik mempunyai dampak yang besar terhadap jalannya roda perekonomian, maka kelangsungan pelayanan angkutan umum menjadi sangat penting dan perlu mendapat perhatian yang serius sebagai salah satu elemen sistem transportasi.

Kota yang baik dapat ditandai antara lain dengan kondisi sistem transportasinya. Kelancaran transportasi mencerminkan keteraturan dan kelancaran kegiatan perekonomian. Dengan kata lain transportasi tidak dapat dipisahkan dari kehidupan masyarakat.

Berdasarkan pola kegiatan dan kondisi masyarakat di daerah perkotaan yang terus berkembang maka angkutan umum sebagai pelayanan publik perlu mendapat perhatian yang serius. Perkembangan ekonomi wilayah dan jumlah penduduk sangat mempengaruhi kegiatan masyarakat wilayah perkotaan, yang menuntut tersedianya sarana dan prasarana serta jasa pelayanan transportasi yang lebih baik dalam mendukung kegiatan perkotaan.

Persoalan transportasi di Kota Cimahi pada dasarnya adalah sebagai dampak dari laju pertumbuhan ekonomi di Kota Bandung dan berkembangnya aktivitas industri di kawasan sekitar Kota Cimahi, seperti aktivitas industri di sebelah barat (Cimareme dan Padalarang) dan bagian selatan (Margaasih dan sekitarnya), sehingga pertumbuhan permintaan pergerakan dari wilayah eksternal meningkat pesat hal ini ditambah pula oleh perkembangan zona-zona tarikan di Kota Cimahi sendiri yang mengakibatkan meningkatnya permintaan pergerakan di wilayah internal.

Kemacetan, keterlambatan, polusi suara, polusi udara, dan pencemaran lingkungan merupakan sebagian permasalahan tersebut. Untuk mengatasinya perlu beberapa tindakan seperti menambah jaringan jalan, menerapkan manajemen lalu lintas, menetapkan kebijakan transportasi, termasuk angkutan umum.

2 Jenis Pelayanan Angkutan Umum

Jenis pengangkutan orang dengan kendaraan umum dilakukan dengan menggunakan mobil, bus, atau mobil penumpang. Pengangkutan orang dengan kendaraan umum dilayani dengan :

2.1 Pelayanan Angkutan Umum Dalam Trayek Tetap dan Teratur

Trayek yaitu lintasan kendaraan umum pelayanan jasa angkutan orang dengan mobil bus umum, yang mempunyai asal dan tujuan tetap, lintasan tetap dan jadwal tetap maupun tidak berjadwal.

2.2 Pelayanan angkutan Umum Tidak Dalam Trayek

Tidak Dalam Trayek, pengangkutan orang dengan angkutan umum tidak dalam trayek yang terdiri dari :

- Pengangkutan dengan menggunakan taksi.
- Pengangkutan dengan cara sewa
- Pengangkutan untuk keperluan pariwisata

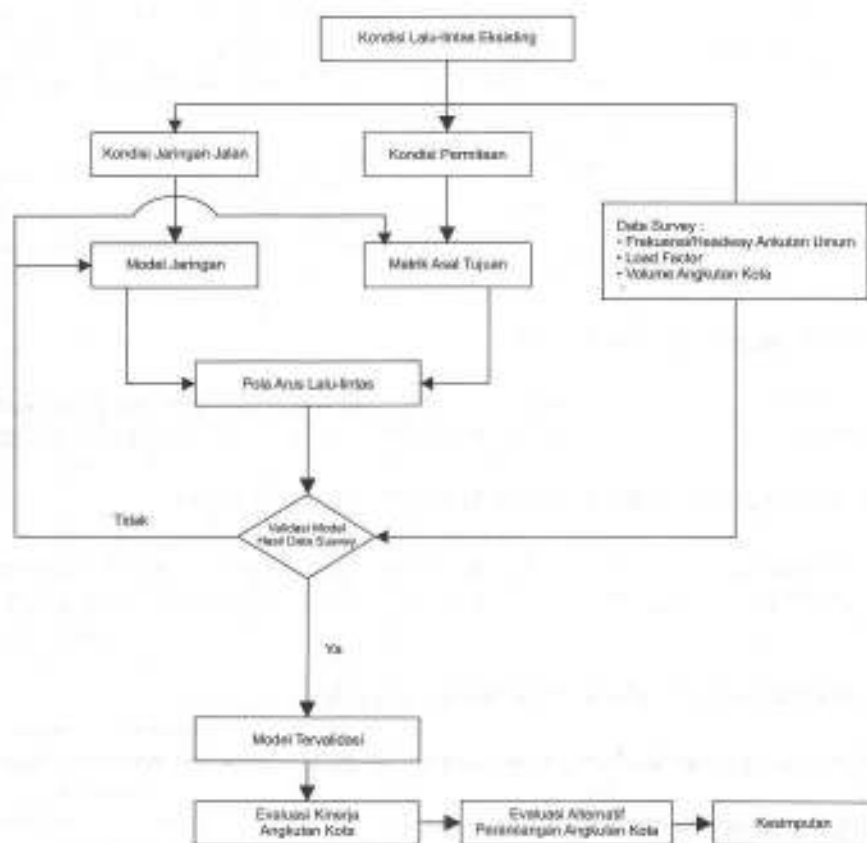
3 Konsep Perencanaan Transportasi

Terdapat beberapa konsep perencanaan transportasi yang telah berkembang sampai dengan

saat ini, yang paling sering digunakan adalah "Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap". Model perencanaan ini merupakan gabungan dari beberapa seri yang masing-masing harus dilakukan secara terpisah dan berurutan (Tamin,2000). Sub model tersebut adalah:

- Aksesibilitas, adalah konsep yang menggabungkan pengaturan tata guna lahan dengan transportasi yang melayani tata guna lahan tersebut.
- Bangkitan dan Tarikan Pergerakan, adalah tahapan pemodelan yang memperkirakan jumlah pergerakan yang berasal dari suatu zona atau tata guna lahan dan jumlah pergerakan yang tertarik ke suatu tata guna lahan atau zona (Tamin,2000).
- Sebaran Pergerakan, merupakan salah satu bagian dari hubungan interaksi antara tata guna lahan, jaringan transportasi, dan arus lalu lintas.
- Pemilihan Moda, adalah keputusan seseorang bagaimana interaksi antara dua tata guna lahan di suatu kota akan dilakukan.
- Pemilihan Rute, sangat bergantung pada pemilihan moda, jika moda yang digunakan adalah angkutan umum maka rute sudah ditetapkan berdasarkan moda transportasinya. Untuk kendaraan pribadi orang akan cenderung menentukan modanya terlebih dahulu baru menentukan rutanya.

4 Metodologi Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

5 Pengembangan Model Jaringan Angkutan Umum

5.1 Pembagian Zona

Kota Cimahi terbagi atas 3 kecamatan yaitu Cimahi Utara, Cimahi Tengah, dan Cimahi Selatan. Setiap kecamatan memiliki beberapa kelurahan/desa sehingga kemudian zona ditentukan berdasarkan kelurahan-kelurahan tersebut. Zona-zona internal (dalam) di wilayah studi (Kota Cimahi) ditentukan dengan menggunakan pendekatan pembagian wilayah administrasi kelurahan/desa. Pemodelan lalu lintas yang digunakan dalam studi ini merupakan pemodelan lalu lintas yang didasarkan kepada zona (*zonal base*), yang berarti bahwa pergerakan diasumsikan bersal dan berakhir dari zona. Karena itu, pada prinsipnya semakin kecil zona (dalam hal ini dapat diartikan sebagai satuan wilayah), maka semakin akurat model yang dihasilkan. Namun dilain sisi, ukuran zona sangat dipengaruhi oleh ketersediaan data dan disesuaikan dengan keperluan tingkat detail keluaran modelnya.

Tabel 1. Pembagian Zona Lalu Lintas Kota Cimahi

Nomor	Nama Zona	Nomor	Nama Zona
1	Kel. Cipagoran	12	Kel. Lesuwigajah
2	Kel. Citerreup	13	Kel. Utama
3	Kel. Cibabat	14	Kel. Cibereum
4	Kel. Pasirkaliki	15	Kel. Melong
5	Kel. Padasuka	16	Kec. Padalarang
6	Kel. Setiamana	17	Kec. Cisarua
7	Kel. Karangmekar	18	Kec. Parompong
8	Kel. Baroe	19	Kec. Bandung Kulon
9	Kel. Cimahi	20	Kec. Margasih
10	Kel. Cigugur	21	Kec. Batujajar
11	Kel. Cibeber	22	Kec. Padalarang

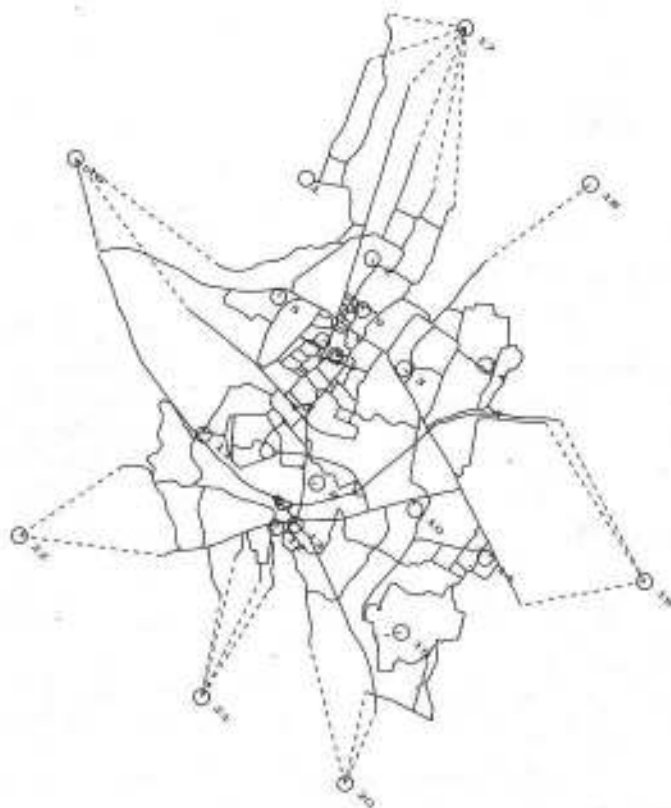
5.2 Model Jaringan Angkutan Kota

Angkutan Kota Cimahi terdiri dari 46 rute trayek (pulang - pergi) berdasarkan data sekunder yang didapat dari Pemkot Cimahi. Rute trayek yang ada di Kota Cimahi dimasukkan ke model jaringan jalan Kota Cimahi yang telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya yaitu Analisis Kinerja Jaringan Jalan Cimahi. Data rute trayek Angkutan Kota di Cimahi dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan model jaringan jalan diperlihatkan pada Gambar 2.

Tabel 2. Rute Angkutan Umum Cimahi

No. Lint	Arah	Trayek	No. Lint	Arah	Trayek
1	Pergi	Lw. Panjang - Sangkuriang	13	Pergi	Pasar Antri - Cisarua
2	Pulang		14	Pulang	
3	Pergi	Lw. Panjang (VIA Gatsu)	15	Pergi	Pasar Antri - Parompong
4	Pulang		16	Pulang	
5	Pergi	Lw. Panjang - (Padalarang - Sangkuriang)	17	Pergi	Pasar Antri - Cililin
6	Pulang		18	Pulang	
7	Pergi	St. hali - Sangkuriang	19	Pergi	Pasar Antri - Seerang
8	Pulang		20	Pulang	
9	Pergi	St. hali (VIA Gatsu)	21	Pergi	Pasar Antri - Padalarang
10	Pulang		22	Pulang	
11	Pergi	St. hali - (Padalarang - Sangkuriang)	23	Pergi	Pasar Antri - Batujajar
12	Pulang		24	Pulang	

No. Line	Arah	Trayek	No. Line	Arah	Trayek
25	Pergi	Pasar Atas - Cilame	37	Pergi	Pasar Atas - Pakohaji
26	Pulang		38	Pulang	
27	Pergi	Pasar Atas - Pasar Batokai	39	Pergi	Pasantren - Sarijadi
28	Pulang		40	Pulang	
29	Pergi	Pasar Atas - Cisarua	41	Pergi	Cimindi - Pasar Antri
30	Pulang		42	Pulang	
31	Pergi	Cimindi - Cipotik	43	Pergi	Pasar Antri - Boros
32	Pulang		44	Pulang	
33	Pergi	Cimindi - Margasah VIA Cibaligo	45	Pergi	Pasar Antri - Contong
34	Pulang		46	Pulang	
35	Pergi	Pasar Antri - Cangkrenh			
36	Pulang				



Gambar 2. Model Jaringan

5.3 Validasi Model

Data total perjalanan (dari/ke) zona analisis diperoleh dari data sekunder yang didapatkan dari Pemkot Cimahi yaitu MAT angkutan umum, dimana satuan yang dipergunakan adalah orang/jam. Validasi dilakukan dengan membandingkan antara arus hasil pembebanan menggunakan matriks asal tujuan yang diperoleh pada model jaringan jalan dengan arus hasil pengamatan lapangan. Hasil simulasi arus lalu lintas angkutan kota diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Pembebanan Jaringan

6 Kondisi Eksisting

Kondisi eksisting lalu lintas Kota Cimahi sebagaimana dapat dilihat di lokasi adalah di beberapa ruas jalan tertentu sering terjadinya tumpang tindih angkutan, ini disebabkan karena pola jaringan jalan Kota Cimahi tergolong pola *radial*. Karena ruas Jln. Achmir Mahmud (Jalan Raya Cimahi) ini merupakan jalan utama (arteri) yang berfungsi sebagai tempat bermuaranya dari jalan-jalan kolektor (primer dan sekunder) di Kota Cimahi. Jalan-jalan kolektor tersebut antara lain adalah:

- Jalan Sangkuriang
- Jalan Kolonel Masturi
- Jalan Gatot Subroto
- Jalan Dustira
- Jalan Sisingamangaraja
- Jalan Cihanjuang
- Jalan Leuwigajah
- Jalan Baros
- Jalan Nanjung
- Jalan Pasar Antri

Headway dan *load factor* dapat digunakan untuk menilai kinerja angkutan umum. *Headway* merupakan waktu antara satu kendaraan dengan kendaraan lain yang berurutan di belakangnya pada satu rute yang sama. *Headway* semakin kecil menunjukkan frekwensi yang semakin tinggi sehingga menyebabkan waktu tunggu yang rendah. Hal tersebut merupakan kondisi yang menguntungkan bagi penumpang, namun di sisi lain menyebabkan terjadinya saling "tempel" antara kendaraan angkutan umum dan akan mengakibatkan gangguan pada arus lalu lintas lainnya. Menurut Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Darat No SK 687/AJ.206/DRJD/2002 tentang Pedoman Teknis Penyelenggaraan Angkutan Penumpang Umum di Wilayah Perkotaan Dalam Trayek Tetap dan Teratur bahwa *headway* ideal adalah 5-10 menit dan *headway* pada jam-jam sibuk adalah 2-5 menit.

Load factor (faktor beban) adalah beban penumpang yang harus ditanggung oleh suatu sarana angkutan umum dalam satu trayek. Parameter ini digunakan untuk mengetahui suatu trayek mempunyai beban besar atau kecil, sehingga dapat digunakan untuk merencanakan kebutuhan sarana angkutan umum. Secara rinci *headway* rata-rata dan *load factor* rata-rata pada jam-jam sibuk di tahun 2008 dengan asumsi kapasitas kendaraan 8 orang/kendaraan disajikan pada Tabel 7. berikut.

Tabel 3. *Headway* dan *Load factor* Angkutan Kota Cimahi Tahun 2008

No	No Trayek	Arah		Tipe	Headway (menit)			Load Factor		
		A	B		A ke B	B ke A	Rata-rata	A ke B	B ke A	Rata-rata
1	AK01	Le. Panjang	Sangkalang	1	1	1	0,46	0,33	0,20	
2	AK02	Le. Panjang	Sangkalang (VA Gatsu)	1	1	1	0,47	0,38	0,42	
3	AK03	Le. Panjang	Padalangan	1	1	1	1,49	1,14	1,21	
4	AK04	St. Hall	Sangkalang	1	1	1	0,47	0,34	0,40	
5	AK05	St. Hall	Sangkalang (VA Gatsu)	1	1	1	0,47	0,39	0,43	
6	AK06	St. Hall	Padalangan	1	1	1	1,52	1,16	1,24	
7	PK01	Pasar Antri	Cadanga	5	5	5	1,28	1,06	1,41	
8	PK02	Pasar Antri	Pocongong	3	3	3	1,08	4,53	2,81	
9	PK03	Pasar Antri	Cilin	2	5	3,5	1,52	7,85	4,69	
10	PK04	Pasar Antri	Sarang	6	5	5,5	4,50	2,88	3,74	
11	PK05	Pasar Antri	Padalangan	3	2	2,5	1,54	5,81	3,89	
12	PK06	Pasar Antri	Bakajajar	5	5	5	1,20	3,50	2,65	
13	PK07	Pasar Atas	Claras	5	5	5	0,25	4,44	2,34	
14	PK08	Pasar Atas	Pasar Bantari	5	5	5	2,88	5,10	3,20	
15	PK09	Pasar Atas	Cianjur	5	5	5	0,71	0,67	0,69	
16	PK10	Cinend	Cipik	5	5	5	2,41	3,27	2,84	
17	PK11	Cinend	Margasari	5	5	5	0,58	2,13	1,36	
18	PK12	Pasar Antri	Campokasih	8	5	7	9,94	3,90	6,92	
19	PK13	Pasar Atas	Pakutaji	5	5	5	0,64	0,08	0,46	
20	PK14	Pasandran	Serjadi	5	5	5	1,69	1,94	1,81	
21	D001	Cinend	Pasar Antri	2	5	3,5	1,24	3,20	2,47	
22	D002	Pasar Antri	Barsi	5	2	3,5	4,57	2,73	3,65	
23	D003	Pasar Antri	Canting	5	2	3,5	2,82	1,00	1,90	

Dari hasil analisis terhadap *headway* dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok, yaitu:

1. Trayek angkutan kota memiliki *headway* yang sangat rendah (< 2,5 menit). Trayek angkutan kota yang memiliki *headway* sangat rendah disajikan pada Tabel 3. Kondisi yang dapat disimpulkan berdasarkan Tabel tersebut adalah:
 - Trayek-trayek yang memiliki *headway* sangat rendah (< 2,5 menit) namun memiliki *load factor* rendah (< 0,5), berarti armada yang beroperasi melebihi kebutuhan (kondisi *over supply*). Trayek angkutan kota yang termasuk dalam kondisi ini adalah : AK01, AK02, AK04, AK05. Dalam kondisi ini perlu adanya koreksi *headway*.
 - Trayek-trayek yang memiliki *headway* sangat rendah (< 2,5 menit) dan memiliki *load factor* tinggi (> 0,5), trayek mengalami *over demand* maka dalam kondisi ini *headway* perlu dikoreksi. Trayek angkutan kota yang termasuk dalam kondisi ini adalah : AK03 dan AK06.
2. Trayek angkutan kota memiliki *headway* ideal jam sibuk (2,5-5 menit). Trayek angkutan kota yang memiliki *headway* ideal jam sibuk (2,5-5 menit) disajikan pada Tabel 5.8. Kondisi yang dapat disimpulkan berdasarkan Tabel tersebut adalah:
 - Trayek-trayek yang memiliki *headway* ideal jam sibuk (2,5-5 menit), memiliki *load factor* rendah (< 0,5), berarti armada yang beroperasi melebihi kebutuhan, tetapi kelebihan armada yang terjadi lebih rendah dibandingkan dengan kondisi -

butir 1 di atas. Trayek angkutan kota yang termasuk dalam kondisi ini adalah : PK13. Dalam kondisi ini perlu adanya koreksi *headway*.

- Trayek-trayek yang memiliki *headway* ideal jam sibuk (2,5-5 menit), memiliki *load factor* tinggi ($> 0,5$), berarti armada yang beroperasi sesuai dengan kebutuhan. Trayek angkutan kota yang termasuk dalam kondisi ini adalah : PK09. Khusus untuk trayek PK01, PK02, PK03, PK05, PK06, PK07, PK08, PK10, PK11, PK14, DK01, DK02 dan DK03, trayek mengalami *over demand* maka dalam kondisi ini *headway* perlu dikoreksi.

3. Trayek angkutan kota memiliki *headway* (5-10 menit), yaitu trayek PK04 dan PK12. Trayek angkutan kota ini memiliki *load factor* (3,74 dan 5,92), berarti trayek mengalami *over demand* jadi perlu adanya koreksi *headway*.

Dengan gambaran kondisi angkutan kota di tahun 2008 seperti dijelaskan diatas maka dapat diusulkan *headway* di tahun 2008 seperti pada tabel 5.8 dibawah ini :

Tabel 4. Usulan *Headway* Tahun 2008

NO	Trayek	Usulan Headway Tahun 2008 (Menit)
1	Lw. Panjang - Sangkuriang	2,2
2	Lw. Panjang (VIA Gatsu)	2,1
3	Lw. Priang - (padalarang - Sangkuriang)	0,7
4	St hall - Sangkuriang	2,1
5	St hall (Via Gatsu)	2,1
6	St hall - (padalarang - sangkuriang)	0,7
7	Pasar Antri - Ciwaring	2,8
8	Pasar Antri - Parompona	0,7
9	Pasar Antri - Cililin	0,8
10	Pasar Antri - Sorong	1,3
11	Pasar Antri - Padalarang	0,3
12	Pasar Antri - Batuniar	1,4
13	Pasar Atas - Cibana	0,7
14	Pasar Atas - Pasar Barokai	1,0
15	Pasar Atas - Cigugur	7,1
16	Cimindi - Cigugur	1,5
17	Cimindi - Margaasih Via Cibuligo	2,4
18	Pasar Antri - Cangkocah	0,9
19	Pasar Atas - Pakuhaji	5,9
20	Pesangren - Sarijadi	2,6
21	Cimindi - Pasar antri	1,1
22	Pasar Antri - Baros	0,7
23	Pasar antri - Comeng	1,7

Dari hasil model penelusuran rute terpendek (*PATH*), dengan asumsi waktu tempuh maksimal 300 menit maka dari zona cipageran (1) ke zona Pasirkaliki (4), Cibeber (11), Melong (15), Margaasih (20), Batujajar (21), Kec Padalarang (22) tidak bisa di akses, sehingga perlu kajian rute trayek lebih lanjut untuk melayani trayek dari zona tersebut diatas.

7 Kondisi Mendatang

Seperti pada wilayah perkotaan pada umumnya, terdapat pertumbuhan lalu lintas yang tidak merata di Kota Cimahi dan sekitarnya. Zona-zona yang saat ini tingkat pergerakan yang sudah tinggi (guna lahannya sudah padat) umumnya akan memiliki pertumbuhan lalu lintas relatif -

rendah dibandingkan zona lain yang masih berkembang. Selain itu pertumbuhan lalu lintas zona juga dipengaruhi oleh arah pengembangan guna lahannya. Zona yang diarahkan/dikembangkan menjadi pusat kegiatan atau guna lahan perdagangan dan jasa akan memiliki tingkat pertumbuhan lalu lintas yang lebih tinggi dibandingkan guna lahan lainnya, seperti industri, perumahan atau pendidikan.

Faktor-faktor pengaruh diatas digunakan untuk memvariasikan tingkat pertumbuhan lalu lintas zona berdasarkan tingkat pertumbuhan Penduduk maupun PDRB wilayah. Prakiraan bangkitan perjalanan mendatang menggunakan *model trip end*, dimana masing-masing zona dianalisis pertumbuhannya yang digunakan untuk pengali total bangkitan dan tarikan masing-masing zona. *Fratar Model* digunakan untuk mendapatkan matriks masa depan berdasarkan matriks awal 2008 yang tervalidasi dengan data *traffic counting*. Asumsi untuk pertumbuhan diatas adalah zona eksternal menggunakan nilai pertumbuhan rata-rata dari rencana pertumbuhan penduduk Kota Cimahi tahun 2008 sampai 2018. Dimana pertumbuhan penduduk untuk rencana tahun 2008 sampai 2018 adalah 2,85%. Sementara untuk zona internal menggunakan rencana pertumbuhan penduduk pada zona per kecamatan.

Tabel 5. *Headway* dan *Load factor* Angkutan Kota Cimahi Tahun 2018

No	No Trayek	Asal	Tujuan	Headway (menit)			Load Factor		
				A ke B	B ke A	Rata-rata	A ke B	B ke A	Rata-rata
1	AK01	Lw. Panjang	Sangkurang	1	1	1	0,61	0,45	0,53
2	AK02	Lw. Panjang	Sangkurang (VIA Gatsu)	1	1	1	0,64	0,50	0,57
3	AK03	Lw. Panjang	Padalarang	1	1	1	1,98	1,54	1,76
4	AK04	St. Hall	Sangkurang	1	1	1	0,63	0,46	0,53
5	AK05	St. Hall	Sangkurang (VIA Gatsu)	1	1	1	0,63	0,51	0,57
6	AK06	St. Hall	Padalarang	1	1	1	2,01	1,56	1,78
7	PK01	Pasar Antri	Ciwanaga	5	5	5	2,35	1,64	1,90
8	PK02	Pasar Antri	Parongpong	3	3	3	1,43	6,01	3,72
9	PK03	Pasar Antri	Cililita	2	5	3,5	2,00	10,35	6,18
10	PK04	Pasar Antri	Sorang	6	5	5,5	6,08	3,82	4,95
11	PK05	Pasar Antri	Padalarang	3	2	2,5	2,03	7,58	4,80
12	PK06	Pasar Antri	Banjajar	5	5	5	2,16	4,75	3,45
13	PK07	Pasar Atas	Cibente	5	5	5	0,25	6,08	3,17
14	PK08	Pasar Atas	Pasar Barokah	5	5	5	3,89	6,93	5,42
15	PK09	Pasar Atas	Cisuran	5	5	5	0,95	0,90	0,92
16	PK10	Cimindi	Cipatik	5	5	5	3,18	4,36	3,77
17	PK11	Cimindi	Margasoth	5	5	5	0,78	2,78	1,78
18	PK12	Pasar Antri	Camporeah	9	8	7	13,18	5,17	9,16
19	PK13	Pasar Atas	Pakuhaji	5	5	5	1,15	0,11	0,63
20	PK14	Pesantren	Sarijadi	5	5	5	2,29	2,66	2,47
21	DK01	Cimindi	Pasar Antri	2	8	3,5	2,27	4,24	3,26
22	DK02	Pasar Antri	Baros	5	2	3,5	5,96	3,58	4,77
23	DK03	Pasar Antri	Contong	5	2	3,5	5,83	1,31	2,57

Dari hasil analisis terhadap *headway* dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok, yaitu:

1. Trayek angkutan kota memiliki *headway* yang sangat rendah (< 2,5 menit). Trayek angkutan kota yang memiliki *headway* sangat rendah disajikan pada tabel 9. Kondisi yang dapat disimpulkan berdasarkan Tabel tersebut adalah:

Trayek-trayek yang memiliki *headway* sangat rendah (< 2,5 menit) dan memiliki *load factor* tinggi (> 0,5), berarti armada yang beroperasi sesuai dengan kebutuhan. Trayek angkutan kota yang termasuk dalam kondisi ini adalah : AK01, AK02, AK03, AK04, AK05, AK06. Khusus untuk trayek AK03 dan AK06 *load factor* sudah sangat tinggi sehingga perlu adanya koreksi *headway*.

2. Trayek angkutan kota memiliki *headway* ideal jam sibuk (2,5-5 menit). Trayek angkutan kota yang memiliki *headway* ideal jam sibuk (2,5-5 menit) disajikan pada Tabel 5.16. Kondisi yang dapat disimpulkan berdasarkan Tabel tersebut adalah:

Trayek-trayek yang memiliki *headway* ideal jam sibuk (2,5-5 menit), memiliki *load factor* tinggi ($> 0,5$), berarti armada yang beroperasi sesuai dengan kebutuhan. Trayek angkutan kota yang termasuk dalam kondisi ini adalah : PK09, PK13. Khusus untuk trayek PK01, PK02, PK03, PK05, PK06, PK07, PK08, PK10, PK11, PK14, DK01, DK02 dan DK03, trayek mengalami *over demand* maka dalam kondisi ini *headway* perlu dikoreksi.

3. Trayek angkutan kota memiliki *headway* (5-10 menit), yaitu trayek PK04 dan PK12. Trayek angkutan kota ini memiliki *load factor* tinggi (4,95 dan 9,15), berarti trayek mengalami *over demand* jadi perlu adanya koreksi *headway*.

Dengan gambaran kondisi angkutan kota di tahun 2018 seperti dijelaskan diatas maka dapat diusulkan *headway* di tahun 2018 seperti pada Tabel 6. dibawah ini :

Tabel 6. Usulan *Headway* Tahun 2018

NO	Trayek	Usulan Headway Tahun 2018 (Menit)
1	Lw. Panjang - Sangkuriang	1.6
2	Lw. Panjang (VIA Gatsu)	1.6
3	Lw.Panjang - (pdalarang - Sangkuriang)	0.5
4	St hall - Sangkuriang	1.6
5	St hall (Via Gatsu)	1.6
6	St hall - (padalarang - sangkuriang)	0.5
7	Pasar Antri - Ciwaruga	2.1
8	Pasar Antri - Parompong	0.5
9	Pasar Antri - Cililin	0.5
10	Pasar Antri - Soreang	1.0
11	Pasar Antri - Padalarang	0.3
12	Pasar Antri - Batujajar	1.1
13	Pasar Atas - Cilame	0.5
14	Pasar Atas - Pasar Barokai	0.7
15	Pasar Atas - Cisarua	5.3
16	Cimindi - Cipatik	1.1
17	Cimindi - Margaasih Via Cibaligo	1.8
18	Pasar Antri - Cangkorah	0.7
19	Pasar Atas - Pakuhaji	4.4
20	Pesantren - Sarjadi	1.9
21	Cimindi - Pasar antri	0.9
22	Pasar Antri - Baros	0.6
23	Pasar antri - Contong	1.3

8 Kesimpulan

1. Dari hasil analisis *headway* dan *load factor* di kondisi eksisting didapat bahwa angkutan kota dengan trayek Leuwipanjang – Sangkuriang, Leuwipanjang – Sangkuriang (VIA Gatsu), St.Hall - Sangkuriang dan St.Hall – Sangkuriang (VIA Gatsu) mengalami *over supply*, sehingga perlu dilakukan pengaturan *headway* pada trayek ini.

2. Trayek-trayek yang tumpang tindih dengan angka persentase load factor pada lintasan tumpang tindih kurang dari 60% adalah :
 - Leuwipanjang – Cimahi dengan St. Hall – Cimahi
 - Leuwipanjang – Padalarang dengan St. Hall – Padalarang
 - Cimahi – Cililin dengan Cimahi – Batujajar.
3. Zona yang terlayani oleh Angkutan kota berjumlah 22 dari 22 zona yang ada namun dengan asumsi waktu tempuh maksimal 300 menit, terindikasi dari model pergerakan dari zona cipageran (1) ke zona Pasirkaliki (4), Cibeber (11), Melong (15), Margaasih (20), Batujajar (21), Kec Padalarang (22) tidak terlayani oleh angkutan kota.
4. Dengan mengambil asumsi tidak ada penambahan trayek baru maka di usulkan *headway* untuk tahun 2008 dan tahun 2018 seperti pada tabel 7. dibawah ini.

Tabel 7. Usulan *Headway* Tahun 2008 dan 2018

NO	Trayek	Usulan Headway Tahun 2008 (Menit)	Usulan Headway Tahun 2018 (Menit)
1	Lw. Panjang - Sangkurang	2,2	1,6
2	Lw. panjang (Via Gatro)	2,1	1,6
3	Lw.Panjang - (padalarang - Sangkurang)	0,7	0,5
4	St hall - Sangkurang	2,1	1,6
5	St hall (Via Gatro)	2,1	1,6
6	St hall - (padalarang - sangkurang)	0,7	0,5
7	Pasar Antri - Cisurug	2,8	2,1
8	Pasar Antri - Parungmense	0,7	0,5
9	Pasar Antri - Cililin	0,6	0,5
10	Pasar Antri - Srengeng	1,3	1,0
11	Pasar Antri - Padalarang	0,3	0,3
12	Pasar Antri - Batujajar	1,4	1,1
13	Pasar Atas - Cilime	0,7	0,5
14	Pasar Atas - Pasar Barokah	1,0	0,7
15	Pasar Atas - Cisurug	7,1	5,3
16	Cimindi - Cipatuk	1,5	1,1
17	Cimindi - Margaasih Via Cibaling	2,4	1,8
18	Pasar Antri - Cangkrah	0,9	0,7
19	Pasar Atas - Paluhaji	5,9	4,4
20	Pesantren - Samadi	2,6	1,9
21	Cimindi - Pasar antri	1,1	0,9
22	Pasar Antri - Baros	0,7	0,6
23	Pasar antri - Cione	1,7	1,3

9 Daftar Pustaka

- Departemen Perhubungan RI, Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, *Penyelenggaraan Angkutan Penumpang Di Wilayah Perkotaan Dalam Trayek Tetap dan Teratur*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997*.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Darat., *Menuju Lalu Lintas dan Angkutan Jalan yang Tertib*.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, *Panduan Pengumpulan Data Angkutan Umum Perkotaan*.
- Rusgiyanto, F., Ziaulhaq, A., Ardiansyah, M., 2009, "Evaluasi Kinerja Jaringan Jalan Kota Cimahi dengan Pemodelan Lalu Lintas", Cimahi, Unjani.
- Tamim, O. Z.,1997, " *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi* ", Bandung ,Institut Teknologi Bandung.

**JURNAL TEKNIK
PETUNJUK UNTUK PENULIS**

Umum, Jurnal Teknik menerima artikel yang orisinal dari berbagai penelitian yang berhubungan dengan ilmu teknik metalurg dan material, teknik kimia, teknik mesin, teknik industri, teknik sipil, teknik elektro dan teknologi informasi.

Artikel yang diterima hanya yang belum dipublikasikan. Penggunaan ilustrasi atau table yang telah dipublikasikan, merupakan tanggung jawab penulis untuk perizinan dari penerbit. Artikel dapat dikirimkan kepada redaksi:

**Drs. Danang K.
Fakultas Teknik Bandung
Jl. Gatot Subroto (Samping PT. PINDAD)
Bandung 40280**

Tiga eksemplar artikel tercetak dikirim ke redaksi Jurnal teknik yang diketik pada satu sisi halaman kertas A₄ (21,0 cm x 29,7 cm).

Format penulisan artikel mengikuti aturan sebagai berikut:

Batas kiri = 4 cm, batas atas = 4 cm, dengan batas tinggi pengetikan 19 cm dan batas lebar pengetikan 12,5 cm.

Ukuran huruf untuk judul 14 pt (tebal), ukuran huruf penulis 10 pt (tebal) ukuran huruf untuk alamat institusi 10 pt.

Ukuran huruf untuk abstrak dan kata kunci 10 pt, ukuran huruf untuk sub dan isi/teks 11 pt

Tipe huruf dari Microsoft word = Times New Roman

Judul dan penulis diketik dengan bentuk sebagai berikut:

**Analisa Kerusakan pada Turbin *Bucket* yang terbuat dari
Material *Nickel Based Alloy MAR-M-246***

Leni Juwita¹ & Mabe Siahaan²

¹Jurusan Teknik Metalurgi
Fakultas Teknik – Universitas Jenderal Achmad Yani
²LAPAN - Bandung

Panjang maksimum artikel 10 halaman termasuk gambar dan table. Gambar dibuat dalam warna hitam putih dengan kualitas yang bagus.

Abstrak dari tulisan dibuat dalam bentuk bahasa Indonesia. Panjang maksimum dari abstrak adalah 200 kata. Kata kunci (5 – 10 kata) yang mengikuti abstrak ditulis berdasarkan urutan huruf

Daftar Pustaka di tulis dalam artikel mengikuti contoh dibawah ini:

Jurnal

1. Irawan N. M., *Judul tulisan*, Nama Jurnal 2, 10-24(1996)

Buku

2. Irawan, N. M., & Hendra T., *Judul buku*, ed. 3, Penerbit (2000)

Website

3. Nama penulis (jika ada), *Judul tulisan* (jika ada), Organisasi, alamat website, (2 Juni 1999)

Penulis yang artikelnya dimuat mendapat 2 cetak lepas, 1 eksemplar Jurnal Teknik

