

ISSN 1412 - 8810  
Vol. X, No. 2, 2011

# JURNAL TEKNIK

Diterbitkan oleh  
**Fakultas Teknik**  
Universitas Jenderal Achmad Yani

# JURNAL TEKNIK



Diterbitkan oleh  
**Fakultas Teknik**  
Universitas Jenderal Achmed Yani

# JURNAL TEKNIK

Vol. X, No.2, 2011

Penanggung Jawab	: Susanto Sambasri, ST., MT.
Pemimpin Usaha	: Ir. Febrianto Adi Nugroho, MM.
Pemimpin Redaksi	: Cucu Wahyudin, Spt., MT.
Ketua Dewan Editor	: Prof. Waspudo Martojo, Ir.
Dewan Redaksi	: Prof. Dr. Bambang Sutjiatno 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)	: Pawawoi, ST., MT. Rinto Yusriski ST., MT.
Distribusi dan Kesekretariatan	: Danang Kunjono, Drs.

#### 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  
E-mail : [jurnaltek@gmail.com](mailto:jurnaltek@gmail.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.

## Pengantar Redaksi

Respon yang semakin tinggi dari civitas akademika Unjani mengiringi penerbitan Jurnal Teknik Volume X No. 2 tahun 2011, yang ditunjukkan dengan semakin banyaknya naskah yang diterima oleh Dewan Redaksi. Sejumlah naskah tidak dapat diterbitkan pada edisi ini karena masih dalam proses review oleh penyunting ahli dan juga adanya keterbatasan ruang pada terbitan volume X No. 2 tahun 2011.

Dewan Redaksi mengucapkan terima kasih kepada para peneliti dan kontributor yang telah mengirimkan naskahnya, dan semoga pemuatan karyanya dalam Jurnal Teknik dapat menjadi pemacu untuk melahirkan karya-karya lain yang lebih bergairah dengan ide-ide *original* dan bermanfaat untuk masyarakat.

Selamat bekerja, dan semoga Allah swt meridhai karya-karya kita.

Bandung,

Dewan Redaksi

# JURNAL TEKNIK

Vol. X, No.2, 2011

---

## DAFTAR ISI

- |  |         |
|--|---------|
| <b>Analisa Orientasi Arah dan Fraksi Volume Serat terhadap Kekuatan Geser dan Tarik Material Komposit Berpenguat Serat Butang Pisang Abaka</b><br>Oleh : Martijanti  | 76-82   |
| <b>Kajian Awal Pemanfaatan Sekam Padi Menjadi Karbon Aktif</b><br>Oleh : Hendriyana  | 83-89   |
| <b>Penjadwalan Perbaikan Pompa <i>Sump Pit</i> dengan Metoda <i>Pert</i> Di PT. Taka <i>Turbomachinery Indonesia</i></b><br>Oleh : Cucu Wahyudin, Yosy   | 90-103  |
| <b>Evaluasi Keselamatan Lalu Lintas Studi Kasus Lokasi Rawan Kecelakaan KM 63+700 Cibect, Kab.Cianjur</b><br>Oleh : Ferry Rusgiyanto, Lingga Brata Darma Kusumah, Febri Rizki Andreas                        | 104-113 |
| <b>Analisa Kegagalan Bantalan Luncur (<i>Bush</i>) pada Poros Sepatu Rem Kereta Api</b><br>Oleh : Adi Ganda Putra, Pawawoi   | 114-118 |
| <b>Pengaruh Proses Kurburasi Padat (<i>Pack Carburizing</i>) terhadap Sifat Mekanik pada Baja Pegas JIS SUP6</b><br>Oleh : R. Henry Mulyani  | 119-124 |
| <b>Evaluasi Fungsional Perkerasan Jalan Dengan Menggunakan Metode <i>Pavement Condition Index</i> (PCI) Studi Kasus Ruas Jalan Cihampelas – Bandung</b><br>Oleh : Agus Juhara, Dini Andariani, Lina Yunliana | 125-134 |

## Analisa Orientasi Arah dan Fraksi Volume Serat terhadap Kekuatan Geser dan Tarik Material Komposit Berpenguat Serat Batang Pisang Abaka

Martijanti

Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Achmad Yani

**Abstrak.** Material komposit merupakan suatu gabungan dua unsur, yaitu serat (*fiber*) dan matriks. Serat yang digunakan material komposit pada penelitian ini adalah serat yang berasal dari alam yaitu serat pisang abaka dan matriks yang digunakan *epoxy*.

Permasalahan pada penelitian ini difokuskan untuk mengetahui sejauh mana orientasi arah serat terhadap sifat mekanik dari material komposit. Metode yang digunakan eksperimental dengan proses *Hand Lay-Up*. Dengan melakukan serangkaian pengujian yang meliputi uji tarik dan uji geser, sedangkan parameter yang diambil adalah variasi dari fraksi volume serat 10%, 15% dan 20% dengan arah serat dua arah dan juga arah acak. Dari hasil data pengujian, diperoleh kesimpulan bahwa semakin tinggi fraksi volume serat, maka kekuatan tarik dan gesernya akan semakin meningkat. Pada orientasi serat arah *Random* kekuatannya lebih rendah dibandingkan dengan orientasi serat dua arah karena kekuatan tidak terpusat pada dua arah melainkan seragam pada segala arah. Adanya distribusi yang tidak merata karena adanya *void* atau cacat sehingga kekuatannya rendah.

**Kata kunci :** *Orientasi arah serat, fraksi volume serat, kekuatan geser, material komposit berpenguat serat batang pisang abaka*

### 1 Pendahuluan

Pada saat ini material yang diolah secara eksplorasi (bahan tambang) suatu saat pasti akan habis. Sebagai bahan alternatif material pengganti dari bahan eksplorasi salah satunya adalah material komposit. Material komposit didefinisikan sebagai campuran makroskopik antara serat dan matriks. Serat mempunyai sifat fisik yang kuat berfungsi untuk memperkuat matriks karena serat jauh lebih kuat dari matriks juga dapat menahan sebagian besar gaya-gaya yang bekerja, sedangkan matriks bertugas melindungi serat dari efek lingkungan dan kerusakan akibat benturan (*impact*). Komposit dikategorikan menjadi beberapa jenis yaitu komposit serat kontinu, komposit serat anyam, komposit serat acak, komposit serat hibrid dan komposit serat logam. Faktor yang mempengaruhi komposit adalah jumlah, arah serat, dan fraksi volume. Material komposit berpenguat serat pisang abaka merupakan salah satu alternatif pilihan sebagai pengganti dari bahan tambang dengan kelebihannya mudah didapat, tahan korosi, kekuatannya tinggi, ramah lingkungan serta dengan biayanya yang ekonomis.

Tanaman abaka (*Musa Textilis Nee*) termasuk dalam pisang (*Musaceae*) yang dikategorikan sebagai pisang jantan, karena pisang ini tidak menghasilkan buah. Produksi utama dari budi daya tanaman pisang ini adalah berupa serat (*fiber*) yang terkenal dalam perdagangan internasional sebagai serat berkualitas tinggi. Serat pisang abaka (untuk selanjutnya disebut sebagai serat abaka) juga banyak di gunakan untuk bahan baku pulp kertas bermutu tinggi -

(kertas uang, kertas eek, kertas filter, kertas teh celup, dan kertas *cologne*), tekstil dan juga pembuatan jok mobil. Melihat kelebihan tersebut diatas maka penulis tertarik untuk meneliti sejauh mana pengaruh fraksi volume dan orientasi arah serat pisang abaka dengan matriks epoxy terhadap kekuatan geser material komposit.

Faktor yang mempengaruhi kekuatan material komposit seperti yang dijelaskan di atas adalah orientasi dan jumlah serat. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauhmana pengaruh fraksi berat terhadap kekuatan geser komposit berpenguat serat pisang, khususnya kekuatan Geser. Untuk orientasi serat menggunakan bentuk woven roving (2 arah) dan arah acak, serta bervariasikan fraksi berat serat sebesar 10%, 15% dan 20%.

## 2 Tinjauan Pustaka

### 2.1 Material Komposit

Dalam bidang rekayasa, kekuatan mekanik dan kekakuan merupakan persyaratan utama dalam material komposit. Material komposit adalah suatu material yang dibentuk dengan menggabungkan dua bahan atau lebih (logam, polimer dan keramik) yang berbeda dalam skala makro, dimana material penyusunnya dapat dibedakan dengan jelas secara makroskopik, sehingga sifat-sifat komponen pembentuknya masih terlihat dengan jelas).

Komposit diklasifikasikan menjadi tiga kelompok berdasarkan matriks<sup>1</sup>):

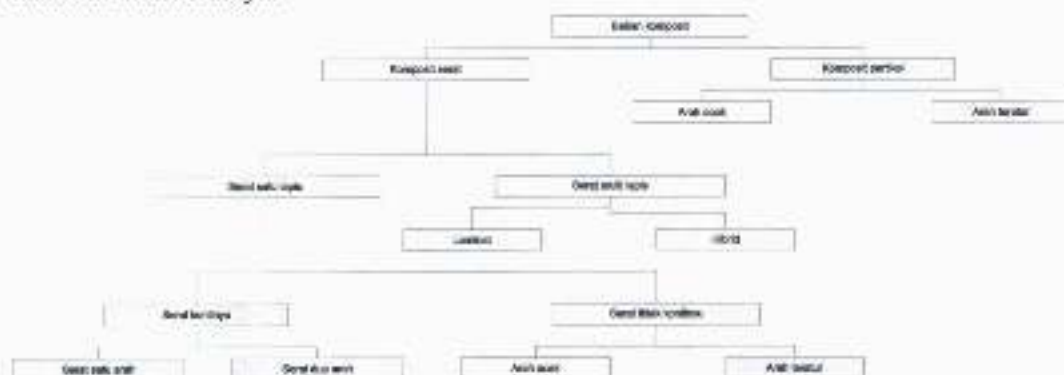
- Polymer Matrix Composites (PMC); komposit dengan matriks polimer, merupakan komposit utama dan sering disebut fiber Reinforced Polymer
- Metal Matrix Composite (MMC); komposit dengan matriks logam
- Ceramic Matrix Composite (CMC) komposit dengan matriks keramik

Material komposit dibentuk dari beberapa bahan pokok agar diperoleh sifat yang kuat, kaku dan ringan yang belum pernah dimiliki oleh sifat asalnya. Bahan pokok tersebut adalah matriks dan serat. Material komposit sangat efisien dalam menerima beban, karena beban tersebut ditanggung oleh serat. Serat harus terikat kuat oleh matriks sehingga dapat menentukan sifat keseluruhan material komposit<sup>1</sup>).

Fungsi serat adalah untuk mendukung beban yang bekerja, meningkatkan kekuatan material karena memiliki serat yang halus dan lebih kuat. Oleh sebab itu material komposit sangat kuat dan kaku bila mendapatkan beban yang searah dengan serat, sebaliknya sangat lemah bila dibebani dalam arah tegak lurus<sup>2</sup>). Mengingat matriks sebagai media, maka fungsi dari matriks tersebut adalah mengikat serat, sebagai medium untuk mentransfer dan mendistribusi beban pada serat, dan juga sebagai pembungkus/ pelindung serat dari kerusakan permukaan yang disebabkan oleh abrasi mekanis atau reaksi kimia dengan lingkungan sekitar. Serat tanpa adanya matriks tidak akan dapat menahan gaya dalam arah tekan dan transversal. Matriks juga menggunakan mekanisme tegangan geser, serta melindungi serat dari pengaruh lingkungan yang merusak. Karena itu bahan matriks biasanya dipilih dari bahan yang ulet dan lunak, agar mampu meneruskan tegangan geser<sup>2</sup>).

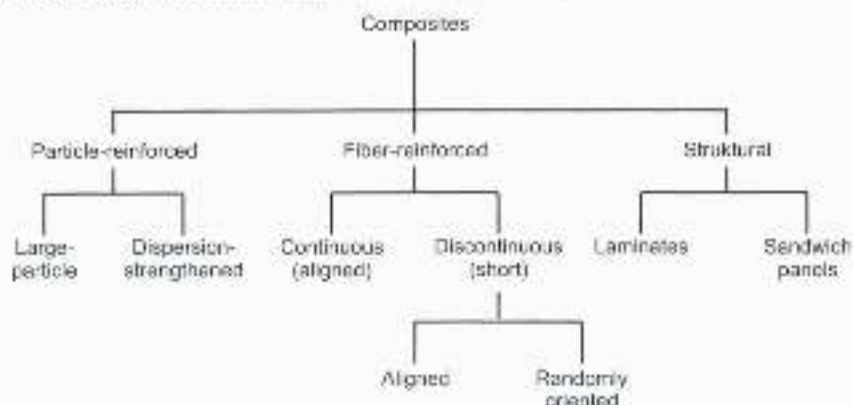
## 2.2 Klasifikasi Jenis-Jenis Komposit

Komposit diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis, bergantung pada geometri dan jenis seratnya. Hal ini dapat dimengerti, karena serat merupakan unsur utama dalam material komposit tersebut. Sifat-sifat mekanik material komposit, seperti kekuatan, kekakuan, keuletan dan ketahanan terhadap reaksi kimia dengan lingkungan tergantung dari geometri dan sifat-sifat seratnya.



Gambar 1. Diagram klasifikasi material komposit<sup>7</sup>

Penguat yang dipakai adalah serat (*fiber*), partikel dan *whisker* dalam bentuk yang kontinu. Serat kontinu akan memberikan penguatan yang lebih efektif dari pada partikel atau serat pendek. Serat penguat yang tinggi modulus elastisitasnya akan menjadi Gelas contohnya pada Grafit, boron, gelas, aramid, alumina dan silon karbida<sup>1</sup>.



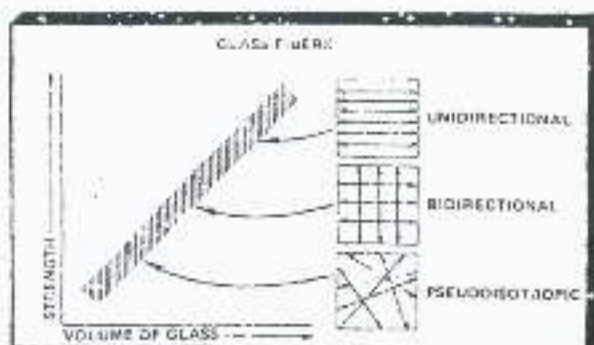
Gambar 2. Klasifikasi dari tipe-tipe komposit<sup>11</sup>

Serat biasanya terdiri dari bahan yang kuat, kaku dan getas. Hal ini terjadi karena seratlh yang terutama mampu menahan gaya luar, sehingga serat harus kuat dan kaku. Kekuatan serat terletak pada ukurannya yang sangat kecil, kadang-kadang dalam *orde micron*<sup>12</sup>. Gaya yang mengenai serat akan didistribusikan kesekitarnya melalui tegangan geser. Oleh karena itu ada dua hal yang membuat serat dapat menahan gaya dengan efektif, yaitu bila<sup>13</sup>:

- Perekatan (*bonding*) antara serat dan matriks (disebut pula *interfacial bonding*) sangat baik dan kuat, sehingga serat tidak mudah lepas dari matriks (*debonding*).
- Kelangsingan (*aspect ratio*), yaitu perbandingan antara panjang dan diameter serat harus cukup besar. Hal ini disyaratkan agar tegangan geser yang terjadi pada permukaan antara serat dan matriks kecil.
- Orientasi dan jumlah *glass*



• Terdapat hubungan antara orientasi glass dengan jumlah glass yang dapat diberikan dalam pembuatan suatu bahan. Dengan meletakkan serat kontinu dalam arah paralel maka jumlah glass yang dipakai dapat mencapai 45-90% wt benda. Jika orientasinya acak maka jumlah glass hanya 15-50% wt benda. Karena jumlah serat glass berbanding lurus dengan kekuatan yang diperoleh maka serat kontinu dalam arah paralel akan memberikan kekuatan lebih besar dari pada serat yang tersusun acak. Hubungan antara jumlah serat, orientasi dan kekuatan yang didapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3 Hubungan antara jumlah serat glass, orientasi dan kekuatan<sup>16</sup>

### 2.3 Berdasarkan Matriks/Resin

Adapun fungsi pokok resin dalam komposit adalah<sup>16</sup>:

- Menggabungkan atau memberikan daya ikat antara benang-benang atau serat (*fiber*)
- Mendistribusikan beban diantara serat (*fiber*)
- Melindungi fiber dari pengaruh lingkungan seperti gaya gesek dan kelembaban
- Memberikan kekakuan pada arah tegak lurus fiber.

Matriks/resin merupakan material organik yang bentuk fisiknya dapat dijumpai dalam kondisi cair, prepolimerisasi dan *cure stage*. *Cure stage* dibagi menjadi tiga tahap yaitu<sup>16</sup>:

#### *A stage*

Yaitu tahap mula-mula (kondisi awal) resin dimana resin tersebut masih dapat larut dan bercampur dengan cairan tertentu.

#### *B stage*

Merupakan tahap antar reaksi polimerisasi (*prepolimerisasi*), dimana resin akan mengembang bila kontak dengan cairan tertentu dan melunak bila dipanaskan.

#### *C stage*

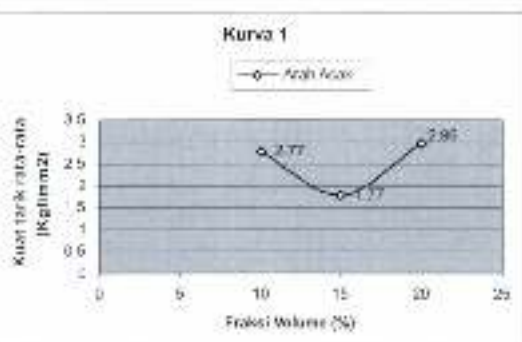
Tahap akhir reaksi polimerisasi resin dimana resin tidak dapat larut atau mencair lagi (*cure*).

## 3 Data dan Pembahasan

Dari hasil pengujian tarik dan geser pada material komposit yang telah dilakukan kemudian mendapatkan data-datanya, maka perlu untuk menganalisis data-data tersebut dan mengetahui sejauh mana sifat mekanik yang ada pada material komposit serat pisang abaka dengan matriks *epoxy* dimana orientasi arah serat acak dan dua arah.

### 3.1 Analisa dan Pembahasan Data Uji Tarik

Untuk melihat kejelasannya lebih lanjut maka dibuat suatu kurva sebagai bahan perbandingan antara material komposit pada setiap fraksi volum 10%, 15% dan 20% dengan kekuatan tarik dan regangan putus.



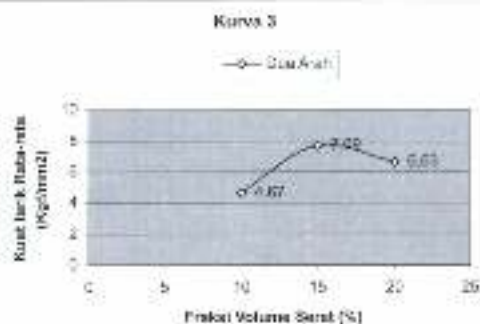
Gambar 4. Kurva Kuat Tarik Rata-rata vs Fraksi Volume Serat dengan Matriks Epoxy dan Orientasi Arah Acak

Pada gambar 4 ditunjukkan untuk setiap fraksi volume serat dengan orientasi arah acak memiliki kuat tarik yang berbeda-beda ada yang terjadi penurunan dan juga peningkatan. Pada  $(V_f) = 10\%$  didapat kuat tarik = 2,77  $\frac{kg}{mm^2}$ ;  $(V_f) = 15\%$  didapat kuat tarik = 1,77  $\frac{kg}{mm^2}$ ;  $(V_f) = 20\%$  didapat kuat tarik = 2,96  $\frac{kg}{mm^2}$ . Terjadinya penurunan drastis terlihat dengan jelas pada uji tarik dengan fraksi volume serat 15%. Sedangkan fraksi volume serat 10% dan 20% kuat tariknya normal dengan menunjukkan kurva yang linier. Secara teori mengatakan bahwa semakin bertambahnya fraksi volume serat maka tingkat kekuatannya juga semakin besar<sup>10</sup>, tetapi pada pengujian disini tidak selamanya benar karena hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Distribusi serat tidak tersusun rata dan homogen berpengaruh terhadap banyaknya cacat rongga udara. Karena saat pencampuran resin dan serat pada proses *hand-lay up* tidak merata atau sempurna sehingga udara terjebak didalamnya disertai cairan pelarut (*resin epoxy*) menguap selama pengeringan.
2. Tabel hasil pengujian tarik untuk setiap pengujian dalam satu pengkondisian di peroleh data yang bervariasi. Ini disebabkan material komposit yang dibuat dengan manual terdapat porositas, secara umum ditunjukkan oleh *void* berupa gelembung udara. Sehingga pada saat beban tarik diberikan terjadi konsentrasi tegangan pada daerah porositas. Konsentrasi tegangan daerah porositas dapat membuat kekuatan tarik yang diperoleh bukanlah kekuatan tarik dari material komposit tersebut. Karena dengan adanya konsentrasi tegangan harga kekuatan material dapat lebih kecil.

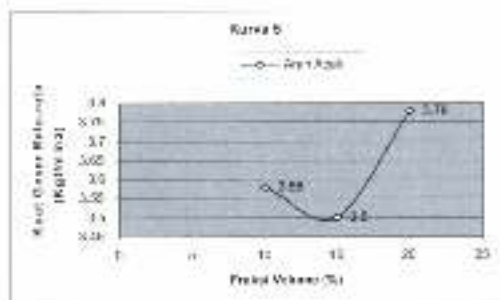
Pada gambar 5 diperoleh kurva kuat tarik vs fraksi volume serat dengan orientasi dua arah memiliki kuat tarik yang berbeda-beda ada yang terjadi penurunan dan juga peningkatan. Pada  $(V_f) = 10\%$  didapat kuat tarik = 4,67  $\frac{kg}{mm^2}$ ;  $(V_f) = 15\%$  didapat kuat tarik = 7,69  $\frac{kg}{mm^2}$ ;  $(V_f) = 20\%$  didapat kuat tarik = 6,63  $\frac{kg}{mm^2}$ . Pada fraksi volume serat 20% terjadinya penurunan kuat tarik atau kuat tariknya lebih kecil dibandingkan dengan fraksi volume serat 10% dan 15%, ini disebabkan karena penggunaan fraksi volume serat yang tinggi, memerlukan serat yang banyak pula sehingga sulit untuk meratakan susunan serat secara homogen dengan pencampuran resin *epoxy* pada proses *hand lay up*. Proses pengerolan yang tidak merata dan sempurna juga menyebabkan terjadinya gelembung udara terjebak didalamnya, sehingga pada proses pengujian tariknya spesimen tersebut tidak mampu menahan beban yang besar.

Kemungkinan terjadinya debonding ikutan antara serat dengan matriks dapat dilihat pada foto makro. Hal ini tampak dari patahan spesimen yang mana matriks sudah putus, disebabkan beban yang diterima oleh spesimen tidak diterima sama-sama melainkan matriks terlebih dahulu menerima beban dan kemudian diteruskan keserat. Pada saat proses pencetakan, ada sebagian serat yang tidak berada ditengah-tengah matriks sehingga serat tidak seluruhnya terikat kuat oleh matriks.



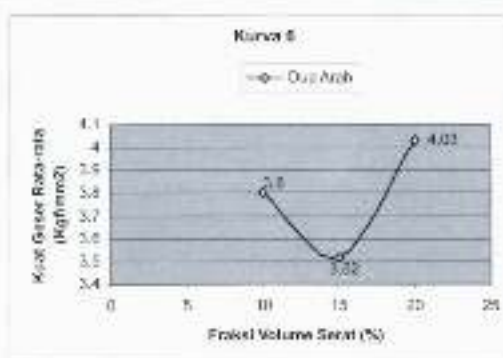
Gambar 5 Kurva Kuant Tarik Rata-rata vs Fraksi Volume Serat dengan Matriks Epoxy dan Orientasi Dua Arah

### 3.2 Analisa dan Pembahasan Data Uji Geser



Gambar 6 Kurva Kuant Geser Rata-rata vs Fraksi Volume Serat dengan Matriks Epoxy dan Orientasi Arah Acak

Pada gambar 6 adalah kurva kuat geser vs fraksi volume serat dengan orientasi serat acak memiliki kuat geser yang bervariasi. Pada  $(V_f) = 10\%$  didapat kuat geser =  $3,58 \frac{kg}{cm^2}$ ;  $(V_f) = 15\%$  didapat kuat geser =  $3,50 \frac{kg}{cm^2}$ ;  $(V_f) = 20\%$  didapat kuat geser =  $3,78 \frac{kg}{cm^2}$ . Pada fraksi volume serat 15% terlihat dengan jelas terjadinya penurunan kuat gesernya ini dikarenakan terjadinya *curing time* yaitu prosesnya belum benar-benar kering. Pada saat pengadukan antara resin dan hardener tidak homogen sehingga warna dari komposit tersebut tidak cerah (pucat) berbeda dari fraksi volume yang lain. Dengan proses pengadukan yang tidak rata serta tidak homogen menyebabkan ikatan antara hardener dan resin tidak saling menyatu sehingga pada saat pemberian beban geser yang besar matriks tidak kuat untuk melindungi serat pada saat pemberian beban dengan arah transversal.



Gambar 7 Kurva Kuat Geser Rata-rata vs Fraksi Volume Serat dengan Matriks Epoxy dan Orientasi Dua Arah

Pada gambar 7 adalah kurva kuat geser vs fraksi volume serat dengan orientasi dua arah memiliki kuat geser yang bervariasi. Pada  $(V_f) = 10\%$  didapat kuat geser =  $3,80 \frac{kgf}{mm^2}$ ;  $(V_f) = 15\%$  didapat kuat geser =  $3,52 \frac{kgf}{mm^2}$ ;  $(V_f) = 20\%$  didapat kuat geser =  $4,03 \frac{kgf}{mm^2}$ . Pada fraksi volume 15% terlihat dengan jelas terjadinya penurunan kuat gesernya, hal ini disebabkan karena pada proses penyusunan serat pada saat proses *hand lay up* tidak teratur banyaknya serat yang menumpuk di beberapa bagian dan bagian lain sedikit terdapatnya serat, sehingga pada saat pengujian geser serat tidak mampu menahan beban yang besar. Maka dengan demikian pemerataan serat kesemua tempat harus diperhatikan hal ini berpengaruh terhadap besar kecilnya kuat geser pada saat diberikan beban geser sehingga mampu menahan beban yang diberikan secara merata.

#### 4 Kesimpulan

Pada hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Dari hasil pengujian pada material komposit berpenguat serat pisang abaka dengan matriks epoxy mengidentifikasi, bahwa semakin tinggi fraksi volume serat maka akan semakin meningkat pula kuat tarik dan kuat geser dari material komposit tersebut. Kecuali pada fraksi volume serat 15 % terjadinya penurunan yang disebabkan banyaknya kandungan void atau gelembung udara yang terjebak didalamnya.
2. Dari hasil pengujian material komposit berpenguat serat pisang abaka dengan matriks epoxy, diperoleh orientasi arah serat yang terbesar untuk kuat tarik dan kuat geser adalah orientasi arah serat dua arah dibandingkan dengan orientasi arah serat acak.

#### Daftar Pustaka

1. Bambang Kismono Hadi, "Mekanika Struktur komposit", Departemen Teknik Penerbangan ITB, Bandung, 1992.
2. George E. Dieter, "Metalurgi Mekanik", Ed.III (jilid 1), Penerbit Erlangga, Jakarta, 1996.
3. Kumpulan Materi Training (Composite Tooling), Pendidikan dan Latihan Industri Pesawat Terbang Nusantara, 1997.
4. Mardjono Siswono, "Komposit dengan Matriks Polimer (Thermoset dan Thermoplastik)", 1990.
5. Rachmat Supardi, H. Drs, "Keramik, Gelas, Komposit Supplement Pengetahuan Bahan Non Logam", Universitas Jendral Achmad Yani, Bandung, 1993.
6. Ronald F Gibson, "Principles Of Composite Material Mechanics", Mc Graw-Hill, Inc., New York, 1994.

## Kajian Awal Pemanfaatan Sekam Padi Menjadi Karbon Aktif

Hendriyana

Jurusan Teknik Kimia  
Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Achmad Yani

**Abstrak.** Produksi padi akan menghasilkan limbah yang disebut sekam. Dari sekitar 100 kg tanaman padi kering hanya diperoleh beras 28,9 kg beras dengan 55,6 kg jerami dan 8,9 kilogram sekam serta 3,6 kg bekatul. Limbah sekam hingga sampai saat ini perlu dicari cara pemanfaatannya agar lebih bernilai ekonomis. Salah satu pemanfaatan sekam padi yang dapat dilakukan adalah dengan membuat sekam padi menjadi karbon aktif yang dapat digunakan sebagai bahan penyerap pada pengolahan air baku atau limbah cair industri agar limbah tersebut nantinya dinyatakan aman ketika dibuang ke lingkungan. Pembuatan karbon aktif dari sekam padi ini dilakukan melalui beberapa tahap. Tahap pertama dilakukan proses karbonisasi pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$  –  $600^{\circ}\text{C}$ . Setelah proses karbonisasi, dilakukan pengecilan ukuran karbon untuk memperluas permukaan karbon. Tahap selanjutnya adalah proses aktivasi, di mana zat aktivator yang digunakan pada penelitian kali ini adalah kalium hidroksida dan asam fosfat dengan variasi konsentrasi 3M dan 9M. Proses aktivasi dilakukan pada temperatur  $50^{\circ}\text{C}$  dan  $100^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam. Dari hasil penelitian didapatkan luas permukaan paling besar 130,31  $\text{mg/g}$  dengan kondisi operasi aktivasi  $50^{\circ}\text{C}$  dengan menggunakan activator KOH.

### 1 Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat konsumsi beras terbesar di dunia. Sebagian besar penduduk Indonesia mengkonsumsi beras sebagai bahan makanan pokok. Konsumsi beras Indonesia yang tinggi menuntut tingkat produksi beras yang besar pula. Dengan produksi padi Indonesia sebanyak 54 juta ton pada tahun 2005, maka pengolahan padi menjadi beras akan menghasilkan jumlah limbah sekam lebih dari 10,8 juta ton.

Namun, pemanfaatan sekam memang masih sangat terbatas, antara lain sebagai media tanaman hias, pembakaran bata merah, dan keperluan lain yang masih sangat sedikit penggunaannya dikarenakan sifatnya yang abrasif, dan sifat kandungan sertanya yang tidak dapat diolah menjadi produk pakan maupun kertas. Salah satu pemanfaatan sekam padi yang dapat dilakukan adalah dengan membuat sekam padi menjadi karbon aktif yang dapat digunakan sebagai bahan penyerap pada pengolahan air baku atau limbah cair industri.

Karbon aktif adalah karbon yang sudah diaktifkan, baik dengan proses aktivasi gas maupun proses aktivasi kimia sehingga pori-porinya terbuka dan dengan demikian daya adsorpsinya tinggi. Karbon aktif bersifat non-voluminus dan praktis, selain itu karbon aktif memiliki fungsi sebagai adsorben, sehingga memberi nilai tambah yang tinggi pada limbah sekam padi. Adsorben adalah suatu zat yang mempunyai daya adsorpsi selektif, berpori (mempunyai luas permukaan satuan massa yang besar) dan mempunyai daya ikat yang kuat terhadap zat yang akan dipisahkan secara fisik atau kimia.

Adsorben karbon aktif banyak digunakan pada industri-industri misalnya pada industri gula, makanan dan obat, pengolahan pulp, yang biasanya digunakan sebagai pemurni air, penghilang racun, penghilang rasa dan bau pada pengolahan air limbah, *recovery* pelarut, pemucat warna, pemurni udara, dan lain-lain.

Pada penelitian ini dilakukan aktivasi dengan menggunakan proses aktivasi kimia dengan menggunakan zat aktivator KOH dan  $H_2PO_4$ . Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh kondisi operasi proses aktivasi karbon aktif dari sekam padi, sehingga diperoleh karbon aktif yang mempunyai daya adsorpsi yang tinggi.

## 2 Tinjauan Pustaka

### 2.1 Sekam Padi

Sekam padi merupakan salah satu bentuk limbah pertanian yang memiliki lapisan keras pembungkus pada kariopsis butir gabah, terdiri atas dua belahan yang disebut lemma dan palea yang saling bertautan. Sekam padi termasuk limbah pertanian berbentuk bahan buangan tidak terpakai dan bahan sisa dari hasil pengolahan. Proses penghancuran limbah sekam padi secara alami berlangsung sangat padat, sehingga tumpukan limbah dapat mengganggu lingkungan sekitar dan berdampak kesehatan manusia. Padahal, melalui pendekatan teknologi, limbah pertanian tersebut dapat diolah lebih lanjut menjadi hasil samping yang berguna disamping produk utamanya.

Pada proses penggilingan gabah, sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Sekam dikategorikan sebagai biomassa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan sebagai bahan baku industri, pengolahan air baku dan limbah cair industri, pakan ternak, dan energi. Dengan komposisi kandungan kimia yang terdapat pada sekam padi antara lain dapat dimanfaatkan untuk:

1. Bahan baku industri kimia, terutama kandungan zat kimia furfural.
2. Bahan baku industri bahan bangunan, terutama kandungan silika ( $SiO_2$ ) yang dapat digunakan untuk campuran pada pembuatan semen Portland, bahan isolasi, *hask-board* dan campuran pada industri bata merah.
3. Sumber energi panas karena kadar selulosanya cukup tinggi sehingga dapat memberikan pembakaran yang merata dan stabil.
4. Bahan baku karbon (arang) aktif, karena memiliki kadar karbon yang cukup besar. Pada tabel 2.1 dapat dilihat komposisi sekam padi dalam basis kering:

Tabel 1 Komposisi sekam padi dalam basis kering

Komponen	Fraksi massa (%)
Karbon	41,40
Hydrogen	4,94
Oksigen	37,32
Nitrogen	0,57
Silicon	14,66
Potassium	0,59
Sodium	0,04
Sulfur	0,30

Posfor	0,07
Kalsium	0,06
Zat besi	0,01
magnesium	0,03

## 2.2 Karbon Aktif

Karbon berdasarkan pada pola strukturnya merupakan suatu bahan berupa karbon amorf yang sebagian besar terdiri dari unsur karbon bebas serta memiliki permukaan dalam, sehingga memiliki daya serap yang tinggi. Unsur karbon adalah suatu zat *inert* yang tidak larut dalam air, asam, basa, dan pelarut organik. Karbon yang terjadi di dalam proses pembentukannya bukanlah karbon murni, tetapi terdapat abu juga, deposit yang berupa tar dan senyawa hidrokarbon. Karbon aktif adalah karbon yang telah mengalami proses pengaktifan, sehingga memiliki daya serap (adsorpsi) yang tinggi terhadap warna, bau, dan zat-zat yang beracun, dan zat kimia lainnya. Keaktifan penyerapan karbon aktif ini tergantung pada senyawa karbonnya yang sekitar antara 85% - 95% karbon aktif.

Karbon aktif dibagi atas 2 tipe yaitu karbon aktif sebagai pemucat dan sebagai penyerap uap. Karbon aktif sebagai pemucat, biasanya berbentuk powder yang sangat halus, diameter pori mencapai  $1000 \text{ \AA}$ , yang dapat digunakan dalam fase cair, berfungsi untuk memindahkan zat-zat pengganggu yang menyebabkan warna dan bau yang tidak diharapkan, membebaskan pelarut dari zat-zat pengganggu dan kegunaan lain yaitu pada industri kimia. Karbon tersebut dapat diperoleh dari serbuk gergaji, ampas pembuatan kertas atau dari bahan baku yang mempunyai densitas kecil dan mempunyai struktur yang lemah.

Karbon aktif sebagai penyerap uap, biasanya berbentuk granular atau pellet yang sangat keras diameter pori berkisar antara  $0 - 200 \text{ \AA}$ , tipe pori lebih halus, digunakan dalam fase gas, berfungsi untuk memperoleh kembali pelarut, katalis, pemisahan, dan pemurnian gas. Karbon tersebut dapat diperoleh dari tempurung kelapa, tulang, batu bata, atau bahan baku yang mempunyai struktur yang keras.

Pada karbon aktif akan terjadi suatu struktur karbon yang *porous* sehingga mempunyai daya adsorpsi yang lebih tinggi dari pada karbon biasa. Pengertian karbon aktif ditujukan pada karbon yang *amorf* yang diolah secara khusus untuk memperbesar daya adsorpsinya. Luas daya adsorpsi sekitar  $600 - 2000 \text{ m}^2/\text{gram}$ . Menurut Sheve N.R, 1977, karbon aktif yang mempunyai luas permukaan besar yang digunakan dalam proses pemurnian itu sekitar 100 kali lebih efisien daripada arang kayu (*charcoal*) dan 40 kali lebih efisien daripada *bone black* ( arang dari tulang). Luas permukaan pori-pori bagian dalam dari karbon memungkinkan karbon aktif mempunyai daya penyerapan terhadap gas-gas dan zat yang terlarut dalam cairan. Pori-pori yang terdapat pada permukaan karbon aktif memiliki dimensi, distribusi, dan luas yang bervariasi. Hal ini tergantung dari bahan baku serta kondisi pada tahap karbonisasi dan aktifasi. Menurut *International Union of Pure and Applied Chemistry* ( IUPAC), karbon aktif mempunyai sifat tidak berbau, tidak berasa, berwarna hitam, serta mempunyai daya serap yang lebih besar dibandingkan dengan karbon yang belum mengalami proses pengaktifan. Sifat-sifat karbon aktif tergantung pada bahan dasarnya, cara proses pengaktifannya dan bentuk karbonnya.

Faktor-faktor yang mempengaruhi daya serap karbon aktif adalah sebagai berikut:

- Sifat kimia dan fisika dari karbon aktif, antara lain luas permukaannya, ukuran lubang, komposisi kimia, dan lain-lain.
- Sifat-sifat kimia dan fisika dari adsorbat (gas dan larutan yang akan diheri arang aktif) antara lain: ukuran molekul, molecul polaritas (muatan molekul, susunan atau kposisi kimia).
- Waktu tinggal (waktu penyerapan).
- Konsentrasi adsorbat dalam fasa cair.

Penggunaan arang aktif pada berbagai industry diantaranya adalah:

1. Industri makanan: Untuk menyaring dan menghilangkan warna, bau, dan rasa tidak enak pada makanan.
2. Industri pengolahan air minum: untuk menghilangkan bau, warna, rasa yang tidak enak, gas-gas beracun, zat pencemar air, dan sebagai pelindung resin pada pembuatan demineralisasi air.
3. Industri minuman: menghilangkan warna, bau, dan rasa yang tidak enak.
4. Industri obat: menyaring dan menghilangkan warna dan senyawa-senyawa yang tidak diinginkan.
5. Industri pengolahan limbah cair: membersihkan air huangan dari pencemar warna, bau, zat beracun, dan logam berat.
6. Mengambil gas polutan: menghilangkan gas beracun, bau busuk, asap, uap air raksa, uap benzen dan lain-lain.
7. Industri plastik: sebagai katalisator, pengangkut vinil chorida dan vinil acetat.
8. Industri gas alam: desulfurisasi, penyaringan berbagai bahan mentah dan reaksi gas.
9. Industri *Rafinery*: zat perantara dan penyaringan bahan mentah.
10. Industri pengolahan emas dan mineral: pemurnian uap merkuri dan menyerap polutan.
11. Mendaur ulang pelarut: mengambil kembali berbagai pelarut, sisa metanol, etanol, etil asetat dan lain-lain.
12. Industri perikanan: pemurnian, menghilangkan bau dan warna, dan lain sebagainya.

### 2.3 Proses Aktivasi Karbon

Hasil karbonisasi di proses lebih lanjut hingga karbon tersebut menjadi karbon aktif dengan menggunakan *activator*. Hasil proses aktivasi dilakukan pengujian daya adsorpsi dengan menggunakan metode bilangan iodium. Sifat terpenting dari karbon adalah daya adsorpsinya. Proses yang memperbesar daya adsorpsinya dari hasil karbonisasi disebut proses aktivasi.

Proses ini dilakukan dengan maksud:

- Memperluas permukaan yang aktif, misalnya dengan memperbanyak pori
- Memperbesar jumlah volume dari ruang kapiler.
- Menghilangkan zat-zat anorganik atau organik yang teradsorpsi.

Umumnya proses aktivasi dilakukan dengan cara pemanasan pada suhu yang lebih tinggi daripada suhu karbonisasi, dengan kotoran-kotoran yang dapat menguap sebagian besar dapat dihilangkan, begitu pula hidrokarbon-hidrokarbon yang dapat menguap sebagian besar dapat dihilangkan, begitu pula hidrokarbon-hidrokarbon dengan berat molekul tinggi.



Setelah aktivasi, diperoleh karbon aktif, tetapi karbon ini bukan karbon murni, masih terdapat unsur lain yang terkait padanya, misalnya oksigen yang terkait dalam beberapa bentuk yang dilukiskan sebagai senyawa permukaan. Pada dasarnya ada 2 cara pengaktifan karbon, yaitu cara termal (*thermal method*) dan cara kimia (*chemical method*):

#### A. Metode termal (fisika)

Tahap karbonisasi dan aktivasi biasanya dilakukan di dalam suatu *direct-fired rotary kiln*, sebagai pilihan lain dapat digunakan suatu *reactor fluidized bed*. Kebanyakan karbon diaktifkan dengan cara ini. Perbedaan bahan baku akan menyebabkan variasi dalam metode ini, namun pada prinsipnya sama. Pengaktifan biasanya dilakukan pada suhu antara 500 °C – 900 °C dan sebagai bahan pengaktifan dilakukan dengan *steam* (uap) atau gas CO, pada suhu antara 800 °C – 900 °C. Dalam proses dengan menggunakan *steam* ini aktivasi berlangsung secara berkesinambungan karena reaksi karbon menjadi CO<sub>2</sub> adalah eksotermis.

#### B. Metode kimia

Bahan kimia yang paling umum dipakai sebagai bahan pengaktif adalah asam fosfat (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), zinc klorida (ZnCl<sub>2</sub>), dan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), kalsium klorida (CaCl<sub>2</sub>), magnesium klorida (MgCl<sub>2</sub>), Ca(OH)<sub>2</sub>, dan NaOH. Semua bahan pengaktif ini umumnya bersifat sebagai pengikat air. Selain bahan kimia yang digunakan di atas, bahan kimia yang dapat dipakai sebagai pengaktif lainnya ialah Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, gas SO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, dan Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.

Aktivasi karbon secara kimia dengan bahan baku dan bahan pengaktif diaduk menjadi pasta, dikeringkan, dan dikarbonisasi di dalam tungku putar pada suhu 600 °C. Untuk mengaktifkan lebih jauh kadang – kadang digunakan *steam* (uap) pada suhu 700 °C – 800 °C. Khusus untuk bahan pengaktif asam fosfat, maka setelah proses karbonisasi dilakukan pemanasan selama 2-8 jam pada suhu 800 °C. Pada tahap ini asam fosfat tereduksi menjadi fosfor dan air, kemudian diserap lalu diubah kembali menjadi fosfat untuk dipakai kembali, arang yang sudah aktif lalu dicuci bersih dengan menggunakan air dan dikeringkan.

### 3 Metodologi

#### 3.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah karbon yang berasal dari sekam padi, asam fosfat, dan kalium hidroksida.

#### 3.2 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: batang pengaduk, *beaker glass*, botol aquadest, corong pisah, erlenmeyer, gelas ukur, hot plate, kaleng bekas, kerlas-saring, Kompor gas, Labu takar, Oven, Spatula, Termometer, Timbangan dan Mortar

#### 3.3 Prosedur Percobaan

Tahapan percobaan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1 Tahapan percobaan

Sekam padi dikarbonisasi selama tiga jam sampai menghasilkan karbon sekam padi. Karbon sekam padi selanjutnya dilakukan pengecilan ukuran sehingga menghasilkan serbuk karbon. Serbuk karbon yang diperoleh diaktivasi dengan suhu aktivasi 50°C dan 100°C, dengan bahan kimia pengaktif (zat aktivator) yaitu larutan KOH dan  $H_2PO_4$ . Perbandingan massa karbon dan massa larutan zat aktivator 1 : 2.

#### 4 Hasil Dan Pembahasan

Dari hasil penelitian didapatkan hasil bahwa pada perlakuan aktivasi, semakin besar konsentrasi zat aktivator yang digunakan maka luas permukaan karbon aktif semakin besar. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan 4.2, bahwa karbon yang diaktivasi dengan konsentrasi aktivator 9M, bilangan iodin-nya lebih tinggi dibandingkan dengan karbon yang diaktivasi dengan konsentrasi 3M. Hal ini dapat diakibatkan oleh fraksi tumbukan antara larutan dengan karbon akan semakin besar seiring dengan meningkatnya konsentrasi.

Tabel 2 Tabel luas permukaan karbon aktif dengan aktivator KOH

	Sebelum aktivasi	3M	9M
50°C	22.14 mg/g	112.96 mg/g	130.31 mg/g
100°C	22.14 mg/g	77 mg/g	116.44 mg/g

Tabel 3 Tabel luas permukaan karbon aktif dengan aktivator  $H_2PO_4$ 

	Sebelum aktivasi	3M	9M
50°C	22.14 mg/g	31.47 mg/g	46 mg/g
100°C	22.14 mg/g	24.98 mg/g	41.04 mg/g

Kemudian dari hasil di atas, suhu dengan aktivasi 50°C menghasilkan luas permukaan yang lebih besar bila dibandingkan dengan suhu aktivasi 100°C. Hal ini dapat diakibatkan oleh penguapan larutan pada suhu 100°C lebih cepat dari suhu 50°C, sehingga waktu kontak antara larutan dengan karbon akan lebih singkat.

## 5 Kesimpulan

Berdasarkan dari data yang didapatkan dari karakterisasi karbon aktif yang dihasilkan pada saat penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari hasil penelitian semakin besar konsentrasi zat aktivator yang digunakan maka luas permukaan karbon aktif semakin besar.
2. Dari hasil penelitian ini didapatkan hasil bahwa pada proses aktivasi dengan suhu 100°C, bilangan iodin yang didapat lebih rendah bila dibandingkan dengan proses aktivasi dengan suhu 50°C.
3. Dari hasil penelitian ini pula didapatkan bahwa zat aktivator kalium hidroksida lebih efektif bila dibandingkan dengan asam fosfat.

## Daftar Pustaka

1. Egwaikhidel, P.A., Akporhonor, E.E., and Okieimen, F.E., 2007, *Utilization of coconut fibre carbon in the removal of soluble petroleum fraction polluted water*, International Journal of Physical Sciences Vol. 2 (2), pp. 047-049
2. Wan Nik, W.B., Rahman, M.M., Yusof, A.M., Ani, F.N., and Che Adnan, M., 2006, *Production of Activated Carbon from Palm Oil Shell Waste and Its Adsorption Characteristics*, Proceedings of the 1st International Conference on Natural Resources Engineering & Technology, Malaysia
3. Viswanathan, B.P., Indra Neel and Varadarajan, T.K., 2009, *Methods of Activation and Specific Applications of Carbon Materials*, NATIONAL CENTRE FOR CATALYSIS RESEARCH DEPARTMENT OF CHEMISTRY INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY MADRAS
4. Zhang, Y., Hong Cui, etc., 2007, *Characterization of Activated Carbon Prepared from Chicken Waste and Coal*, Energy & Fuels, 21, 3735-3739

## Penjadwalan Perbaikan Pompa *Sump Pit* dengan Metoda *Pert* Di PT. Taka *Turbomachinery* Indonesia

Cucu Wahyudin  
Yosy

Jurusan Teknik Industri  
Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Achmad Yani

**Abstrak.** PT. Taka *Turbomachinery* Indonesia merupakan perusahaan swasta nasional yang bergerak dalam bidang *Turbomachinery equipment service* seperti perbaikan pompa, perbaikan turbin dan perbaikan kompresor. Salah satu jenis pompa yang diperbaiki oleh PT. Taka adalah pompa *sump pit* yang digunakan oleh perusahaan BUMN perminyakan. Pompa *sump pit* adalah pompa yang digunakan untuk menangani fluida yang kotor seperti air hujan, *cooling water* dan *drain* dari proses area (disebut juga limbah cair) yang berpotensi mengakibatkan pencemaran lingkungan dari pit (bak) yang dipompakan ke unit *neutralizing*. Di unit *neutralizing* ini limbah cair tadi dinetralisasi oleh bakteri ke *lagoon*, dan baru dilepas ke laut. Limbah cair yang dilepas ke laut ini sudah tidak berbahaya dan tidak mencemarkan lingkungan.

Tidak adanya urutan pengerjaan dan identifikasi dari aktivitas-aktivitas perbaikan pompa yang jelas mengakibatkan pekerjaan seringkali terhambat dan tingkat keterlambatan pengiriman pompa *sump pit* diperkirakan sebesar 35% dari jumlah pompa yang diperbaiki. Penelitian ini berusaha untuk melakukan evaluasi terhadap metoda perbaikan yang dilakukan sehingga dapat memperjelas aktivitas-aktivitas yang terjadi serta sekaligus dapat mengestimasi waktu pengerjaannya. Penelitian ini menerapkan konsep manajemen proyek dalam penyelesaian perbaikan pompa *sump pit*. Penjadwalan dilakukan dengan metoda PERT sehingga diperoleh lintasan kritisnya. Penelitian ini menerapkan prinsip-prinsip manajemen proyek dalam penyelesaian pekerjaan perbaikan pompa *sump pit*, sehingga dapat diketahui performansi perbaikan pompa *sump pit* dengan metoda lama dan dengan manajemen proyek.

### 1 Pendahuluan

#### 1.1 Latar Belakang dan Perumusan Masalah

Pompa adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan *fluida* dari tekanan yang lebih rendah ke tekanan yang lebih tinggi dan/ atau posisi yang lebih rendah ke posisi yang lebih tinggi. Salah satu jenis pompa yang digunakan di BUMN perminyakan adalah pompa *sump pit*. Pompa *sump pit* adalah pompa yang digunakan untuk menangani *fluida* yang kotor seperti air hujan, *cooling water* dan *drain* dari proses area (disebut juga limbah cair) yang berpotensi mengakibatkan pencemaran lingkungan dari *pit* (bak) yang dipompakan ke unit *neutralizing*. Di unit *neutralizing* ini limbah cair tadi dinetralisasi oleh bakteri ke *lagoon* baru dilepas ke laut. Limbah cair yang dilepas ke laut ini sudah tidak berbahaya dan tidak mencemarkan lingkungan. Pompa *sump pit* ini perlu dipelihara dan diperbaiki agar dapat berfungsi sesuai kebutuhan sehingga limbah cair yang ada tetap berada dalam ambang batas yang dipersyaratkan. Jumlah pompa *sump pit* di salah satu tempat BUMN perminyakan adalah 107 unit dan perbaikannya dilakukan melalui jasa *outsourcing*. Perbaikan pompa -

*sump pit* ini dilakukan oleh PT. Taka Turbomachinery Indonesia sejak tahun 2008. Berikut jumlah pompa *sump pit* yang telah diperbaiki oleh PT. Taka dari tahun 2008 sampai tahun 2010.

Tabel 1 Jumlah pompa *sump pit* yang diperbaiki PT. TAKA

No	Tahun	Jumlah pompa yang diperbaiki
1	2008	33 unit
2	2009	15 unit
3	2010	38 unit

Selama ini, metoda perbaikan pompa *sump pit* di PT. Taka dilakukan dengan melihat beban kerja dari karyawan, tidak menunjuk seorang karyawan yang fokus dan bertanggung jawab penuh menangani perbaikan pompa *sump pit* ini. Selain itu tidak adanya urutan pengerjaan dan identifikasi dari aktivitas-aktivitas perbaikan pompa yang jelas mengakibatkan pekerjaan seringkali terhambat, terlebih lagi apabila beban kerja dari personil menjadi tinggi dengan adanya *job order* yang lain dan waktu penyelesaian pekerjaan menjadi lebih lama. Tingkat keterlambatan pengiriman pompa *sump pit* diperkirakan sebesar 35% dari jumlah pompa yang diperbaiki.

Berdasarkan permasalahan diatas maka perlu dilakukan evaluasi terhadap metoda perbaikan yang dilakukan sehingga dapat memperjelas aktivitas-aktivitas yang terjadi dan estimasi waktu pengerjaannya yang dapat mengurangi tingkat keterlambatan pengiriman pompa *sump pit*. Manajemen proyek diduga dapat menjadi metoda alternatif dalam perbaikan pompa *sump pit*. Dalam manajemen proyek, aktivitas perbaikan didefinisikan dengan jelas dan jadwal dapat disusun dengan mempertimbangkan waktu penyelesaian tercepat sehingga keterlambatan pekerjaan perbaikan pompa *sump pit* dapat diminimalisasi.

Alat Bantu yang digunakan untuk mendukung manajemen proyek diantaranya adalah *Work Breakdown Structure* (WBS), jaringan kerja (*network diagram*) dan *Gantt chart*. Pemilihan metoda ini diharapkan tepat untuk dilakukan dalam perbaikan pompa *sump pit* agar masalah keterlambatan pengiriman menjadi minimum dan identifikasi dari aktivitas-aktivitas menjadi lebih jelas.

Teknik PERT adalah suatu metode yang bertujuan untuk (semaksimal mungkin) mengurangi adanya penundaan kegiatan (proyek, produksi, dan teknik) maupun rintangan dan perbedaan-perbedaan, mengkoordinasikan dan menyelaraskan berbagai bagian sebagai suatu keseluruhan pekerjaan dan mempercepat selesainya proyek-proyek. PERT memerlukan tiga taksiran waktu untuk satu lama aktifitas yaitu waktu optimis, waktu paling mungkin (*most likely time*) dan waktu pesimis sehingga bersifat probabilistik.

## 2 Data Proses Perbaikan Pompa

Pompa *sump pit* dapat dikelompokkan menjadi dua komponen utama, yaitu komponen yang berputar (*rotating parts*) dan komponen yang tidak berputar (*stationary parts*).

### 1. Komponen yang berputar

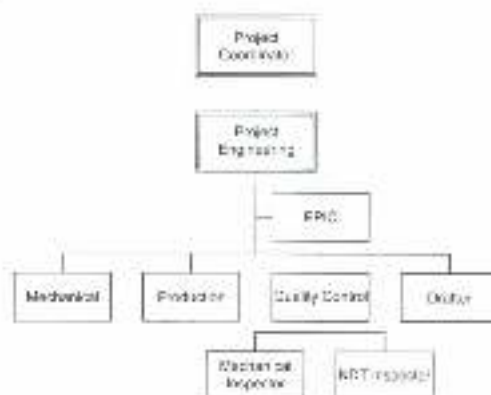
- *Impeller nut*
- *Impeller washer*
- *impeller key*
- *Impeller*
- *Impeller ring*
- *Shaft collar*
- *coupling bolt & nut*
- *Coupling nut*

- Drive shaft key
- Driven half coupling
- Impeller shaft
- Driver half coupling

2. Komponen yang tidak berputar

- Bolt, nut, spring washer
- Cooling pipe
- Lower drop pipe
- Casing ring
- Upper drop pipe
- V-ring
- Drop pipe
- Discharge pipe
- Gasket
- Pump base
- Casing
- Motor base
- Suction strainer
- Bearing
- Suction bell
- Pipe bearing housing

3. Struktur Proyek



Gambar 1. Struktur proyek

4. Identifikasi Aktivitas

Tabel 2 Identifikasi aktivitas

Notasi	Aktivitas
A	Pembongkaran pompa
B	Incoming inspeksi dan summary inspection
C	Pembuatan gambar kerja
D	Pemesanan raw material dan consumable
E	Pembuatan komponen baru dan rekondisi komponen
F	Final inspeksi
G	Pemasangan pompa

1. Pembongkaran Pompa

Merupakan aktivitas pertama ketika sebuah unit pompa datang di *workshop*. Aktivitas ini membongkar sebuah unit pompa hingga ke komponen yang paling kecil yang bisa di bongkar.

2. *Incoming inspection* dan pembuatan *summary inspection*

Aktivitas ini dilakukan untuk melihat bagaimana kondisi awal masing-masing komponen

setelah terbongkar. Inspeksi yang dilakukan adalah : pengecekan NDT (*Non Destructive Test*), pengecekan ukuran dan pengecekan secara visual. Data pengecekan tersebut kemudian digunakan untuk pembuatan *summary inspection* yaitu ringkasan inspeksi dari hasil pengecekan yang dilakukan terhadap komponen-komponen dan rekomendasi terhadap komponen-komponen tersebut.

### 3. Pembuatan gambar kerja

Gambar kerja dibutuhkan untuk di lantai produksi sebagai acuan untuk pembuatan komponen baru atau perbaikan komponen lama. Acuan dari pembuatan gambar kerja adalah data hasil pengukuran komponen dan *summary inspection* apa saja komponen yang harus dibuat dan komponen mana yang harus direkondisi

### 4. Pemesanan raw material dan *consumable*

Pemesanan dilakukan untuk memenuhi permintaan dari lantai produksi berdasarkan gambar kerja yang turun dan daftar *consumable* yang diminta dari bagian *Engineering*. Yang dimaksud *consumable* adalah barang-barang yang standar yang mudah di beli di luar (*vendor*) seperti baut dan nut.

### 5. Pembuatan komponen baru dan rekondisi komponen lama

Gambar kerja yang turun di lantai produksi menjadi acuan oleh bagian produksi untuk melakukan kegiatan produksinya baik pembuatan komponen baru atau merekondisi komponen yang lama

### 6. Final Inspeksi

Final inspeksi dilakukan setelah tahapan proses pengerjaan produksi selesai. Hal ini perlu dilakukan agar semua hasil dari proses pengerjaan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Apabila tidak sesuai maka dilakukan *rework* sampai hasilnya sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

### 7. Pemasangan Pompa

Aktivitas ini dilakukan setelah semua komponen yang dibuat baru atau rekondisi telah selesai dikerjakan dan telah sesuai dengan standar yang ditetapkan diketahui dari hasil akhir pengecekan (final inspeksi). Pemasangan dilakukan sampai satu unit pompa diyakini telah memenuhi semua standard dan unit benar-benar siap untuk dioperasikan.

## 5 Pembedahan Aktivitas

Pembedahan aktivitas (*Work Breakdown Structure*) merupakan proses mengurai aktivitas dan hubungannya yang akan dilakukan dalam proyek. Dari data aktivitas pada tabel 4.1 akan diuraikan lagi aktivitas lebih terperinci.

Berikut adalah contoh pembedahan aktivitas untuk pembongkaran pompa :

Tabel 3. Pembedahan aktivitas

Notasi	Aktivitas
A.1	Melepas coupling penghubung antara pompa dan motor
A.2	Melepas Discharge pipe
A.3	Melepas strainer dari suction bell
A.4	Melepas suction bell dari main casing

A.5	Membuka impeller
A.6	Melepas casing dari lower column
A.7	Melepas cooling pipe
A.8	Melepas lower column dan bearing housing dari middle column
A.9	Melepas shaft collar 1
A.10	Melepas middle column dan bearing housing dari upper column
A.11	Melepas shaft collar 2
A.12	Melepas upper column dari pump base
A.13	Melepas shaft
A.14	Pembersihan semua komponen

## 6 Identifikasi Ketergantungan Aktivitas

Identifikasi ketergantungan aktivitas dilakukan untuk melihat bagaimana sebuah aktivitas melibatkan aktivitas yang lain. Dalam pekerjaan perbaikan pompa *sump pit* ini, urutan pekerjaan harus dilakukan dengan benar karena menyangkut dengan pemasangan (*assembly*) pompa sehingga tidak ada waktu yang terbuang dikarenakan kesalahan urutan pengerjaan.

Berikut adalah contoh identifikasi ketergantungan aktivitas :

Aktivitas pembongkaran pompa		
Notasi	Aktivitas	Predecessor
A.1	Melepas Discharge pipe	
A.2	Melepas strainer dari suction bell	
A.3	Melepas cooling pipe	
A.4	Melepas suction bell casing	A.2
A.5	Membuka impeller	A.4
A.6	Melepas casing dari lower drop pipe	A.1, A.3, A.5
A.7	Melepas lower drop pipe dan pipe bearing housing dari drop pipe	A.6
A.8	Melepas shaft collar	A.7
A.9	Melepas drop pipe dan pipe bearing housing dari upper drop pipe	A.8
A.10	Melepas shaft collar	A.9
A.11	Melepas upper drop pipe dari pump base	A.10



A.12	Melepas coupling - penghubung antara pompa dan motor	
A.13	Melepas shaft	A.11, A.12
A.14	Pemeliharaan semua komponen	A.13

## 7 Identifikasi Waktu Aktivitas

Setiap aktivitas yang dilakukan memiliki waktu pekerjaan yang diketahui dari data pembandingan atau berdasarkan pengalaman. Agar penyelesaian perbaikan pompa *sump pit* berjalan sesuai harapan, maka waktu aktivitas yang terjadi perlu diidentifikasi supaya lebih jelas dalam hal penjadwalannya. Identifikasi waktu ini didapat dari wawancara personal yang sudah berpengalaman dalam perbaikan pompa *sump pit* dan observasi langsung di lapangan. Waktu aktivitas ini terdiri dari 3 variabel yaitu : waktu optimistik, waktu paling mungkin (*most likely time*) dan waktu pesimistik. Ketiga waktu tersebut diambil untuk mencari waktu yang diharapkan dengan rumus :

$$ET = \frac{a + 4(m) + b}{6}$$

Dimana :

ET – *Expected time* (waktu yang diharapkan)

a – waktu optimis

m – waktu paling mungkin (*most likely time*)

b – waktu pesimistik

Data waktu diperoleh dari hasil pengamatan pada masa lalu oleh beberapa karyawan (estimator) yang dianggap dapat mewakili yaitu :

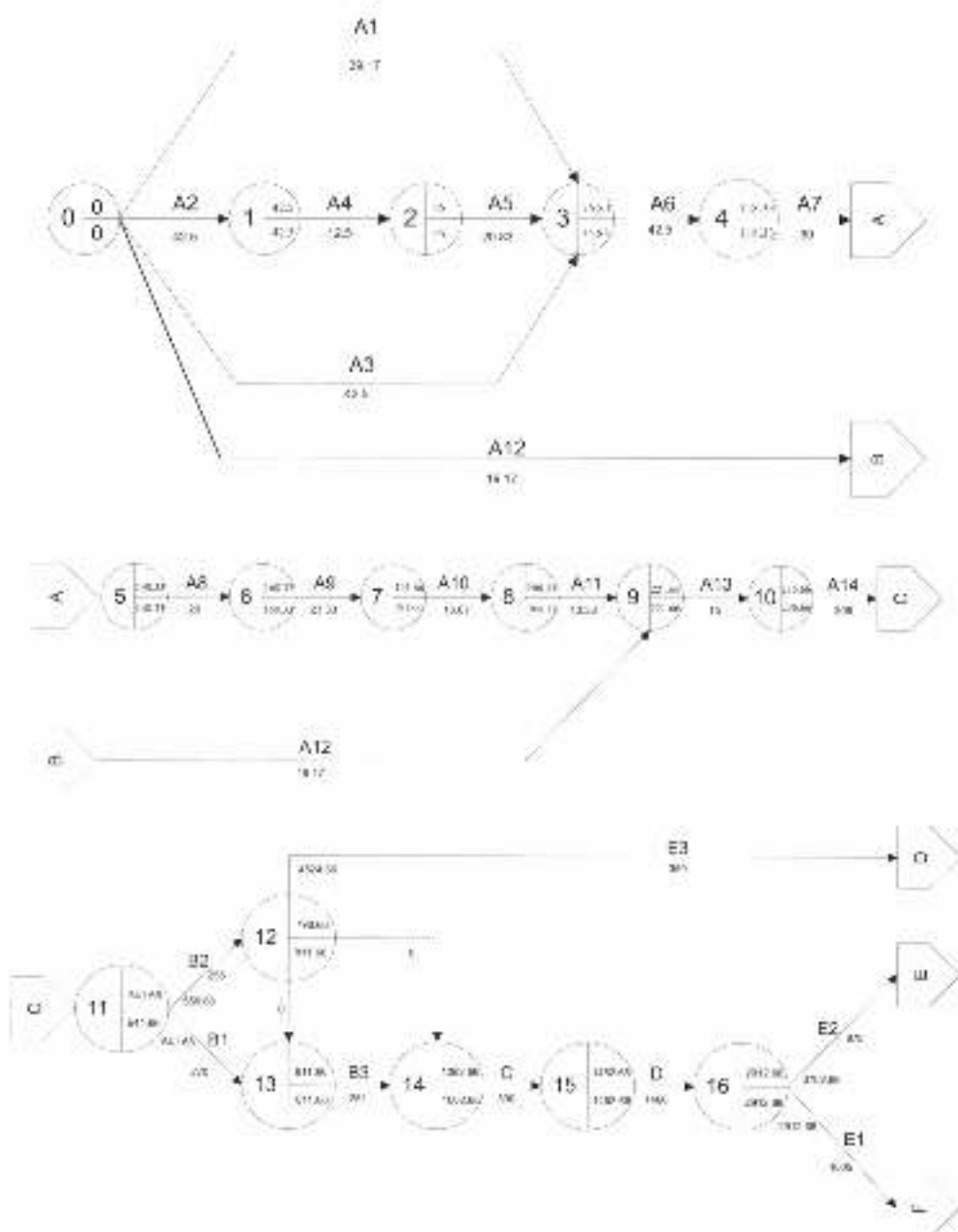
- Supervisor Mekanik
- Supervisor Quality Control
- Supervisor Drafter
- Chief PPIC
- Supervisor Machining
- Supervisor Logistik

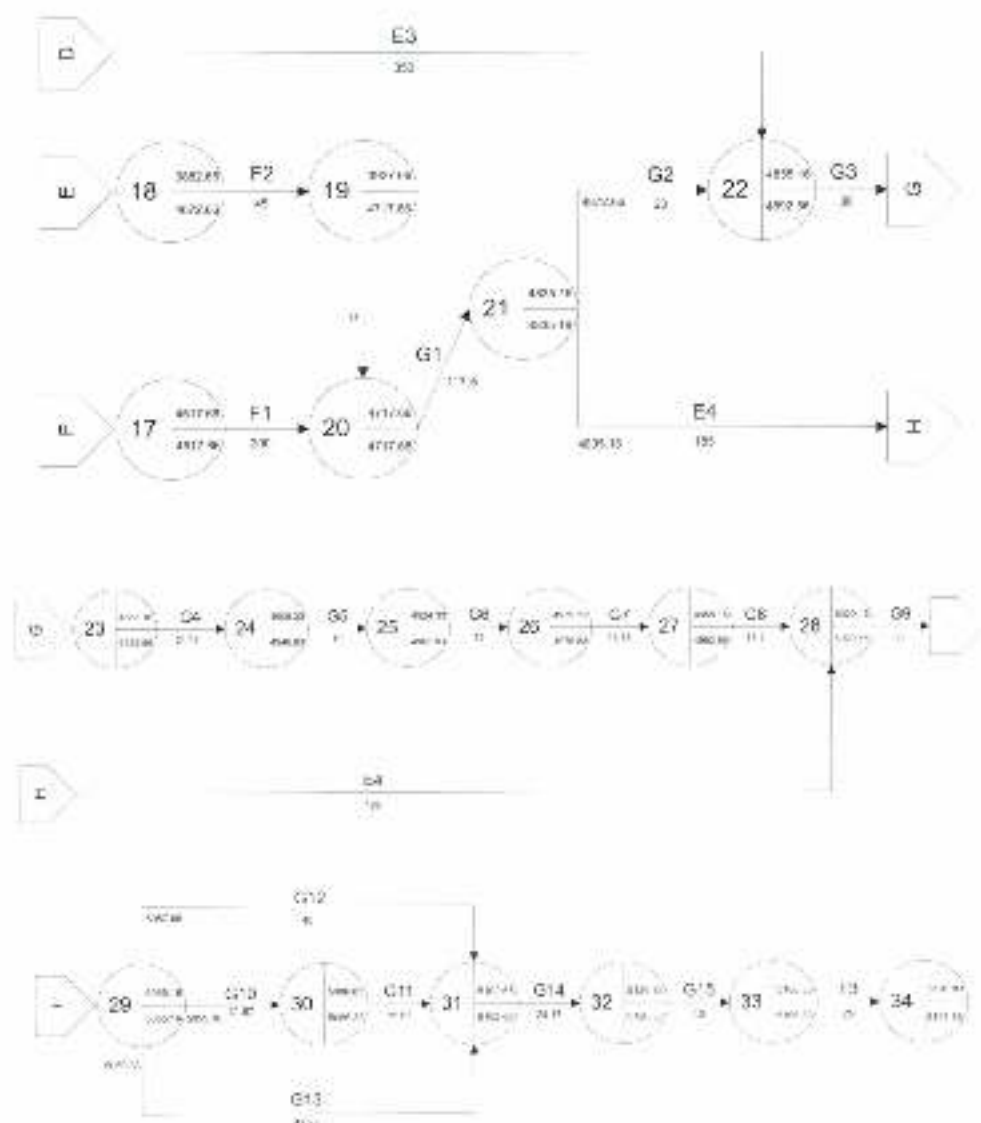
Masing-masing di atas memiliki kemampuan untuk menentukan waktu penyelesaian pekerjaan yang berhubungan dengan bagiannya. Berikut adalah contoh data waktu untuk masing-masing aktivitas (waktu dalam menit) :

Notasi Kegiatan	waktu optimis (a)	<i>Most likely time</i> (m)	Waktu pesimistik (b)	Waktu yang diharapkan (ET)
A.1	30	40	45	39.17
A.2	30	45	45	42.50
A.3	45	40	50	42.50
A.4	15	10	20	12.50
A.5	15	20	30	20.83
A.6	45	45	60	47.50
A.7	15	30	45	30.00
A.8	15	20	25	20.00
A.9	15	25	25	23.33

A.10	15	15	25	16.67
A.11	15	10	25	13.33
A.12	15	20	20	19.17
A.13	10	15	20	15.00
A.14	240	300	390	305.00

## 8 Jaringan Kerja





Node	EET	LET	Slack
0	0	0	0
1	42.5	42.5	0
2	55	55	0
3	75.83	75.83	0
4	118.33	118.33	0
5	148.33	148.33	0
6	168.33	168.33	0
7	191.66	191.66	0
8	208.33	208.33	0
9	221.66	221.66	0
10	238.66	236.66	0
11	541.66	541.66	0

12	796.66	811.66	15
13	811.66	811.66	0
14	1062.66	1062.66	0
15	1452.66	1452.66	0
16	2912.66	2912.66	0
17	4517.66	4517.66	0
18	3882.66	4672.66	790
19	3927.66	4717.66	790
20	4717.66	4717.66	0
21	4835.16	4835.16	0
22	4855.16	4892.66	37.5
23	4885.16	4922.66	37.5
24	4909.33	4946.83	37.5
25	4924.33	4961.83	37.5
26	4939.33	4976.83	37.5
27	4955.16	4992.66	37.5
28	5020.16	5020.16	0
29	5055.16	5055.16	0
30	5086.83	5086.83	0
31	5102.66	5102.66	0
32	5126.83	5126.83	0
33	5166.83	5166.83	0
34	5191.83	5191.83	0

Dari jaringan kerja dan tabel perhitungan *slack time* dapat dicari lintasan kritisnya, yaitu dengan total *slack time* = 0

1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-13-14-15-16-17-20-21-28-29-30-31-32-33-34 dengan waktu proyek 5191.83 menit atau 86.53 jam atau 11 hari kerja

## 9. Kebutuhan Tenaga Kerja Tiap Aktivitas

Dari tiap aktivitas yang ada, bisa didefinisikan untuk kebutuhan tenaga kerjanya. Berikut contoh untuk kebutuhan tenaga kerja tiap aktivitas :

Aktivitas pembongkaran pompa		
Notasi	Aktivitas	Kebutuhan T.K
A.1	Melepas Discharge pipe	2
A.2	Melepas strainer dari suction bell	1
A.3	Melepas cooling pipe	1
A.4	Melepas suction bell casing	1
A.5	Membuka impeller	1
A.6	Melepas casing dari lower drop pipe	2

A.7	Melepas lower drop pipe dan pipe bearing housing dari drop pipe	1
A.8	Melepas shaft collar	1
A.9	Melepas drop pipe dan pipe bearing housing dari upper drop pipe	1
A.10	Melepas shaft collar	1
A.11	Melepas upper drop pipe dari pump base	1
A.12	Melepas coupling penghubung antara pompa dan motor	2
A.13	Melepas shaft	1
A.14	Pembersihan semua komponen	2

## 10 Analisis Lintasan Kritis

Pada proses perbaikan pompa *sump pit*, perencanaan dilakukan dengan metode lintasan kritis. Metode Lintasan Kritis pada dasarnya merupakan alat perencanaan dan pengkoordinasian dalam sebuah proyek. Penggunaan metode ini pada akhirnya akan menghasilkan Lintasan Kritis yang berisi informasi berupa waktu penyelesaian proyek, dan berbagai aktivitas kritis yang dalam pelaksanaannya memerlukan perhatian agar tidak mengganggu pelaksanaan aktivitas yang lain.

Lintasan kritis ini didapatkan dengan mengidentifikasi total *slack* dari perhitungan maju dan mundur yang bernilai nol. Artinya tidak ada jeda waktu antara satu aktivitas dengan aktivitas lain dalam lintasan kritis sehingga jika satu aktivitas dalam lintasan kritis ini mengalami keterlambatan maka aktivitas lain akan mengalami keterlambatan. Oleh karena itu, dengan diketahuinya lintasan kritis ini maka dapat membantu pengendalian agar pelaksanaan perbaikan pompa dapat dilakukan tepat waktu sesuai rencana.

*Network* kerja yang terbentuk, selain dapat digunakan untuk menemukan lintasan kritis juga dapat divisualisasi dalam bentuk *bar chart* (*gant chart*) untuk lebih memudahkan melihat awal dan akhir pekerjaan.

## 11 Analisis Waktu Pekerjaan

Setelah selesai menyusun rangkaian kegiatan menjadi jaringan kerja, maka sampai pada batas tertentu dapat dikatakan bahwa tahap perencanaan proyek telah diselesaikan. Proses itu adalah menganalisis lingkup kerja, memecahkan masalah menjadi sasaran dan memikirkan bagaimana usaha mencapai sasaran tersebut dengan efisien, misalnya kegiatan dilaksanakan secara berseri atau paralel. Langkah berikutnya memberikan unsur kurun waktu ke dalam masing-masing kegiatan.

Ketepatan atau akurasi perkiraan kurun waktu kegiatan akan banyak tergantung dari siapa yang membuat perkiraan tersebut. Faktor-faktor dalam menentukan waktu aktivitas pada proses perbaikan pompa *sumpit* :

- Angka perkiraan bebas dari pertimbangan pengaruh kurun waktu aktivitas yang mendahului atau aktivitas yang terjadi sesudahnya
- Angka perkiraan waktu aktivitas dihasilkan dari asumsi bahwa sumber daya tersedia dalam jumlah yang normal
- Pada analisis perkiraan waktu aktivitas ini, dianggap tidak ada keterbatasan jumlah sumber daya, sehingga memungkinkan aktivitas dilaksanakan dalam waktu yang bersamaan atau paralel sehingga penyelesaiannya lebih cepat dibanding bila dilaksanakan secara berurutan atau berseri
- Menggunakan hari kerja normal. Perkiraan waktu aktivitas ini direncanakan untuk tidak kerja lembur
- Bebas dari pertimbangan mencapai target penyelesaian karena dikhawatirkan akan mendorong untuk menentukan waktu yang disesuaikan dengan target tersebut. Tidak memasukkan angka kontingensi untuk hal-hal seperti adanya bencana alam (gempa bumi, banjir, badai dan lain-lain), pemogokan dan kebakaran

## 12 Analisis Kebutuhan Tenaga Kerja

Data kebutuhan tenaga kerja dapat di kelompokkan sebagai berikut :

Jabatan	Kebutuhan TK
Project Coordinator	1
Project Engineer	1
Mekanik	2
Produksi	2
Quality Control	2
PPIC	1
Drafter	1
Total kebutuhan	10

## 13 Analisis Probabilitas Waktu Yang Dijadwalkan

Dalam penyelenggaraan proyek, sering dijumpai sejumlah tonggak kemajuan (*milestone*) dengan masing-masing target jadwal atau langgul penyelesaian yang telah ditentukan. Koordinator proyek menginginkan suatu analisis untuk mengetahui kemungkinan (probabilitas) mencapai target dari jadwal yang telah ditentukan.

Perhitungan variansi dari jalur kritisnya menggunakan rumus :

$$V = \sigma^2 = \left( \frac{b - a}{6} \right)^2$$

Notasi Kegiatan	Deskripsi Aktivitas	a	b	Variance	Kumulatif variance
A2	Melepas atrainer dan suction bell	30	45	6.25	6.25
A4	Melepas suction bell casing	15	20	0.69	6.94
A5	Membuka impeller	15	30	6.25	13.19
A6	Melepas casing dari lower drop pipe	45	60	6.25	19.44
A7	Melepas lower drop pipe dan pipe bearing housing dari drop pipe	15	45	25.00	44.44
A8	Melepas shaft collar	15	25	2.78	47.22
A9	Melepas drop pipe dan pipe bearing housing dari upper drop pipe	15	25	2.78	50.00
A10	Melepas shaft collar	15	25	2.78	52.78
A11	Melepas upper drop pipe dari pump base	15	25	2.78	55.56
A13	Melepas shaft	10	20	2.78	58.33
A14	Pembersihan semua komponen	240	390	625.00	683.33
B1	Pengecekan NDT	240	300	100.00	783.33
B3	Pembuatan summary inspection	210	300	225.00	1008.33
C	Pembuatan gambar kerja	360	420	100.00	1108.33
D	Pembuatan BOM dan pemesanan BOM	1020	1320	2500.00	3608.33
E1	Pembuatan komponen baru	1350	1800	5625.00	9233.33
F1	Final inspeksi komponen baru	180	240	100.00	9333.33
G1	Pemasangan komponen-komponen baru (carbon bearing, wearing dan case wearing)	75	150	156.25	9489.58
E4	Balancing impeller	120	180	100.00	9589.58
G9	Pemasangan impeller	25	45	11.11	9600.69
G10	Pemasangan suction bell dan setting	25	45	11.11	9611.81
G11	Pemasangan strainer	10	25	6.25	9618.06
G14	Pemasangan Coupling pompa	15	30	6.25	9624.31
G15	Penyambungan coupling pompa dan coupling motor	30	50	11.11	9635.42
F3	Final inspeksi pemasangan pompa	20	30	2.78	9638.19

Dari tabel diatas, kumulatif dari variansi masing-masing kegiatan kritis adalah 9638,19 maka deviasi standarnya adalah :

$$\sigma_c = \sqrt{9638.19} = 98.174$$

organisasi menjadwalkan selesainya proses perbaikan pompa *sump pit* ini lebih lama dari waktu yang diharapkan sesuai jadwal yang dibuat pada jaringan kerja yaitu 5400 menit. Dari jaringan kerja yang terbentuk, lama waktu perbaikan adalah 5191.83 menit. Sehingga bisa dihitung probabilitasnya

$$Z = \frac{TD - TE}{\sigma_x}$$

Dimana :

Z = nilai standar

TD = target waktu = 5400menit

TE = expected time = 5191.83menit

$\sigma_x$  = standar deviasi = 98,174

$$Z = \frac{TD - TE}{\sigma_x}$$

$$Z = \frac{5400 - 5191.83}{98,174} = 2.12$$

Dari tabel kurva normal, nilai z=2.12 memiliki nilai 0.9777

Maka proses perbaikan pompa *sump pit* ini memerlukan waktu selama 5191.83 menit dan kemungkinan perbaikan ini selesai dalam waktu 5400 menit atau sebelumnya adalah 97.77%

#### 14 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang ada, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Aktivitas-aktivitas yang ada dalam proses perbaikan pompa *sump pit* adalah sebagai berikut:

No	Aktivitas
1	Pembongkaran pompa
2	Incoming inspeksi dan summary inspection
3	Pembuatan gambar kerja
4	Pemesanan raw material dan consumable
5	Pembuatan komponen baru dan rekondisi komponen
6	Final inspeksi
7	Pemasangan pompa
8	Pengiriman Pompa

Dari aktivitas-aktivitas diatas, kemudian di *breakdown* lagi menjadi aktivitas-aktivitas yang lebih detail. Urutan aktivitas harus dilakukan dengan benar sehingga untuk itu diidentifikasi aktivitas-aktivitas yang saling ketergantungan. Waktu tiap aktivitas pun diidentifikasi sehingga mendapatkan waktu penyelesaian perbaikan pompa secara keseluruhan.

2. Dengan metoda PERT, didapatkan waktu perbaikan selama 5191.83 menit atau 86.53 jam dengan lintasan kritis terbentuk dari node-node 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-14-15-16-17-19-20-22-29-30-31.
3. Berdasarkan waktu total perbaikan pompa *sump pit* yaitu 11 hari kerja, diharapkan dapat mengurangi tingkat keterlambatan pengiriman pompa sebesar 35%. Permintaan dari PT. Pertamina rata-rata meminta perbaikan pompa *sump pit* ini dilakukan dalam 14 hari kerja tergantung kebutuhan dari PT. Pertamina sendiri terhadap pompa *sump pit*



## 15 Saran

Penjadwalan yang telah dibuat ini dapat dijadikan tolak ukur dalam melakukan pengendalian. Manajemen dapat melakukan pengendalian dengan lebih cermat. Setiap aktivitas perlu dilakukan pengawasan agar dapat terlaksana dengan baik dan tepat waktu terlebih lagi aktivitas-aktivitas kritis.

### Daftar Pustaka

- Bedworth, David D. 1986. *Integrated Production Systems : Management, Analysis*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Budi, Santoso. 2009. *Manajemen Proyek Konsep dan Implementasi*. Graha Ilmu. Yogyakarta
- Duddy, Darmoan dkk. 1996. *Manajemen Penjualan*. Bandung : Polman
- Handoko, Hani. 1997. *Dasar-Dasar Manajemen Produksi dan Operasi*. Yogyakarta : BPF- Yogyakarta
- Hikayat, Eka Wahyu. 2009. *Perencanaan dan Perhitungan Biaya Proyek Pembangunan Sistem Carousel LPG 3KG Dengan Metode Lintasan Kritis Untuk Depot LPG Filling Plant Balongan*. Bandung : Universitas Islam Bandung
- Kerzner, Harold. 2009. *Project Management : A System Approach To Planning, Scheduling and Controlling 10th Edition*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.
- Nurhayati. 2010. *Manajemen Proyek*. Yogyakarta : Graha Ilmu
- Soeharto, Iman. 1995. *Manajemen Proyek : Dari konseptual sampai operasional*. Jakarta : Erlangga.
- Sularso, Haruo Tahara. 2000. *Pompa & Kompresor*. Jakarta : Pradnya Paramita

## Evaluasi Keselamatan Lalu Lintas Studi Kasus Lokasi Rawan Kecelakaan KM 63+700 Cibeet, Kab.Cianjur

Ferry Rusgiyanto, Ir., MT. \*)  
Lingga Brata Darma Kusumah., ST. \*\*)  
Febri Rikki Andreas, ST. \*\*)

**Abstrak.** Keselamatan lalu lintas di jalan raya merupakan masalah yang kompleks yang melibatkan perilaku pengemudi, kondisi mengemudi, karakteristik kendaraan, dan fitur jalan raya. Kecelakaan lalu lintas dapat dikurangi dengan program keselamatan, sebagai upaya untuk mengurangi kecelakaan lalu lintas tersebut. Penyusunan tugas akhir ini bertujuan untuk mengurangi keparahan dan frekuensi kecelakaan di jalan. Suatu pengamatan dilakukan di area black spot Cibeet sta 0+150, yang terletak di Kecamatan Cikalong Kulon Kabupaten Cianjur, Jawa Barat. Lokasi ini merupakan suatu lokasi rawan kecelakaan, yang perlu mendapat prioritas untuk diperbaiki berdasarkan analisis terhadap data kecelakaan lalu lintas yang ada. Perbaikan yang perlu dilakukan meliputi pemasangan rambu-rambu lalu lintas yang lebih baik, pemasangan marka jalan, pemasangan pagar, memperbaiki kondisi geometrik jalan, dan penerangan jalan.

**Kata Kunci:** Keselamatan lalu lintas, keparahan kecelakaan, program keselamatan, penugasan rawan kecelakaan.

\*)Tenaga Pengajar Jurusan Teknik Sipil Unjani

\*\*) Alumni Jurusan Teknik Sipil Unjani

### I. Pendahuluan

Kecelakaan lalu lintas adalah suatu kejadian yang bersifat jarang, sering dipengaruhi banyak sekali faktor, data pada kepolisian RI, menunjukkan bahwa setiap tahun lebih dari 10.000 orang meninggal dalam kecelakaan lalu lintas dan lebih 20.000 orang mengalami luka-luka yang mengakibatkan banyak yang menjadi cacat selama hidupnya.

Kecelakaan lalu lintas merupakan salah satu masalah yang cukup besar yang dihadapi oleh pemerintah. Masalah kecelakaan lalu lintas di Indonesia pada periode satu tahun telah mengakibatkan kerugian sebesar ± Rp. 30,85 triliun (Departemen Perhubungan, 2008) berupa kerugian material, biaya perawatan dan kehilangan jiwa serta produktivitas.

Mengingat dampak kecelakaan lalu lintas yang cukup besar maka dilakukan upaya-upaya penanganan dan pencegahannya. Dalam upaya pencegahan kecelakaan lalu lintas perlu dilakukan penelitian kecelakaan sebagai upaya untuk mengetahui penyebab terjadinya kecelakaan tersebut.

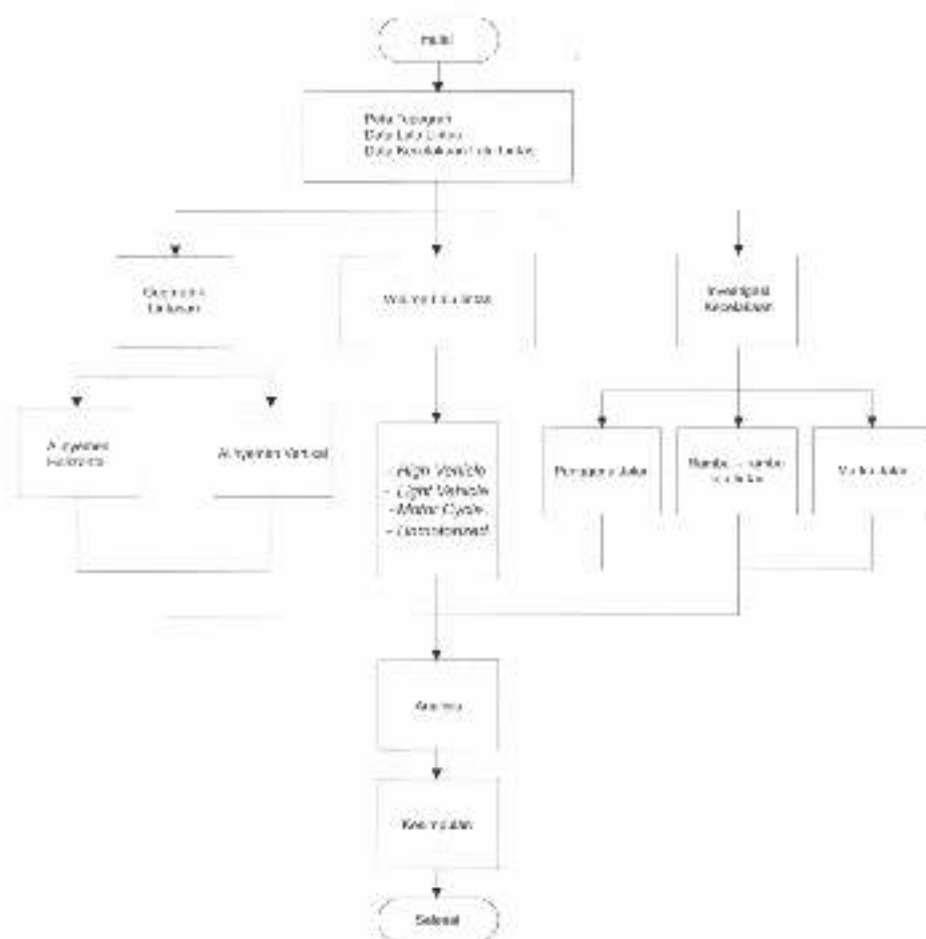
Mengetahui faktor utama penyebab terjadinya kecelakaan akan dapat dilakukan upaya pencegahannya. Salah satu upaya pencegahan kecelakaan antara lain adalah dengan melaksanakan Audit Keselamatan Jalan. Audit Keselamatan Jalan merupakan suatu tindakan menginventarisir dan mengukur serta memberi rekomendasi agar faktor-faktor penyebab kecelakaan lalu lintas pada suatu ruas jalan berada dalam batasan yang dapat diantisipasi dan disikapi oleh pengguna jalan dan atau orang yang berada di sekitarnya.

Jalan Propinsi di Cibeeb Kecamatan Cikalong Kulon yang menghubungkan Kabupaten Cianjur dengan Kabupaten Bogor merupakan jalan alternatif dari Jalan Raya Cipanas – Cianjur bagi kendaraan dari arah Bandung menuju Jakarta melalui Jonggol dan sebaliknya.

Saat ini jalan tersebut di anggap rawan kecelakaan karena sering terjadi kecelakaan lalu lintas bahkan ada yang menyebabkan korban jiwa. Terjadinya kecelakaan lalu lintas ini dapat dijadikan indikator untuk menunjukkan tingkat keselamatan jalan yang rendah pada ruas jalan ini.

Faktor penyebab terjadinya kecelakaan yang terjadi di jalan raya (*road crash*) tidak hanya disebabkan oleh faktor kondisi kendaraan maupun pengemudi semata, namun dapat disebabkan pula oleh banyak faktor lain seperti: kondisi alam, desain ruas jalan (alinyemen vertikal atau alinyemen horizontal), jarak pandang kendaraan, kondisi perkerasan, kelengkapan rambu atau petunjuk jalan, atau pengaruh budaya dan pendidikan masyarakat sekitar jalan.

## 2. Metodologi Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 3. Kondisi Umum

#### 3.1 Kondisi Eksisting Wilayah Studi

Jalan Raya Cibeet merupakan jalan Provinsi yang sebagai jalan kolektor primer. Jalan tersebut menghubungkan Kabupaten Cianjur dengan Kabupaten Bogor. Pada ruas jalan ini terdapat beberapa titik lokasi rawan kecelakaan lalu lintas yang salah satunya pada daerah turunan tajam dan menikung kearah kiri pada Sta 0 – 150. Lokasi rawan kecelakaan lalu lintas diperlihatkan pada Gambar 2. Jalan ini merupakan jalan 2 lajur 2 arah, dengan jenis lapis perkerasan adalah beton aspal (AC) dengan kondisi baik dan dilengkapi dengan marka dan rambu jalan. Pada ruas jalan Cibeet tidak terdapat lampu penerangan jalan.

Dari arah Cianjur, sebelum memasuki jembatan cibeet, ruas jalan tersebut menurun sepanjang 500 m dengan kelandaian rata - rata 9,17 %, dan selanjutnya menikung kearah kiri ketika memasuki jembatan. Radius lengkung yang diperoleh dari program Land Desktop adalah 80 m. Kecepatan rencana pada lengkung horizontal tersebut, berdasarkan radius tikungan minimum yang diperoleh untuk kecepatan 50 km/jam. Gambar 3 memperlihatkan kondisi jalan dan lingkungan di lihat dari arah Cianjur.



Gambar 2. Lokasi Ruas Jalan Raya Cibeet



Gambar 3. Geometrik dan Lingkungan Ruas Jalan Raya Cibeet

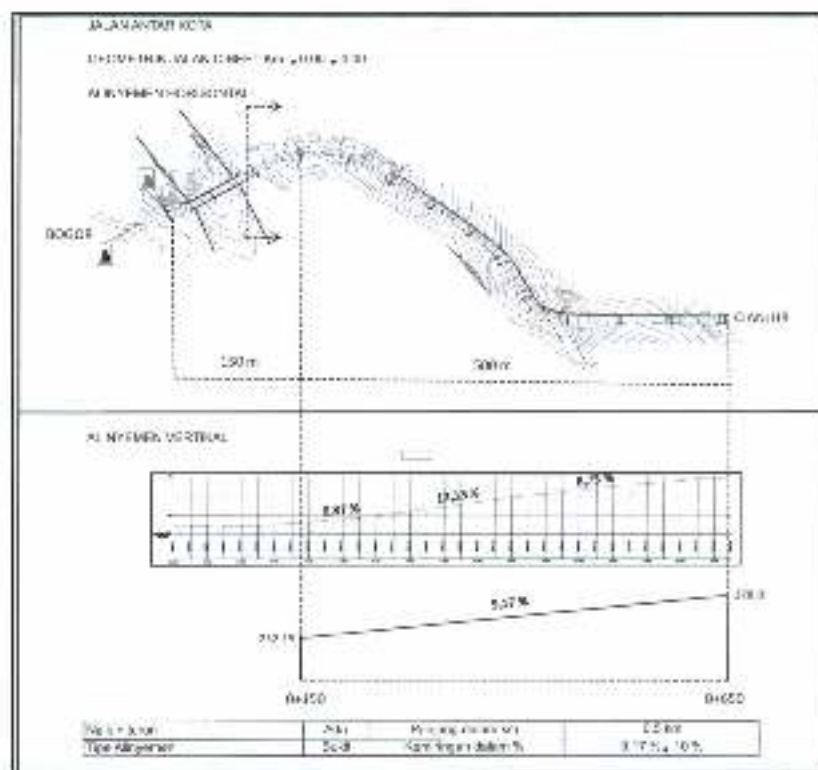
### 3.2 Fungsi dan Kelas Jalan

Jalan yang ditinjau termasuk kedalam jalan kolektor yaitu jalan yang melayani angkutan pengumpul/pembagi dengan ciri – ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata – rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi, serta jalan kelas I yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 (dua ribu lima ratus) milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 18.000 (delapan belas ribu) milimeter, ukuran paling tinggi 4.200 (empat ribu dua ratus) milimeter, dan muatan sumbu terberat 10 (sepuluh) ton dan berdasarkan wewenang pembinaan jalan, jalan tersebut termasuk kedalam Jalan Provinsi dimana merupakan jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan Ibukota Provinsi dengan Kabupaten/Kota atau Antar Ibukota.

Dengan mengkondisikan keadaan jalan pada daftar Audit Keselamatan Jalan Untuk Tahap Operasional Jalan, kondisi umum pada fokus pemeriksaan kelas dan fungsi jalan tidak adanya perubahan dari desain awal.

### 3.3 Lebar Jalur, Lebar Jalan dan Kemiringan Jalan Eksisting

Lebar jalur pada jalan eksisting yang ditinjau adalah 7,00 m, serta memiliki lebar lajur jalan eksisting 3,50 m dan memiliki kemiringan jalan eksisting rata - rata 9,17 % pada jenis medan daerah perbukitan dengan kemiringan medan 3 – 25%. Semua lebar lajur, lebar perkerasan, termasuk lebar jembatan konsisten dan tidak ada penyempitan, maka untuk analisis terhadap lebar lajur jalan sesuai dengan kriteria desain.



Gambar 4. Kemiringan (*gradient*) rata – rata Jalan Eksisting Km 63 + 700

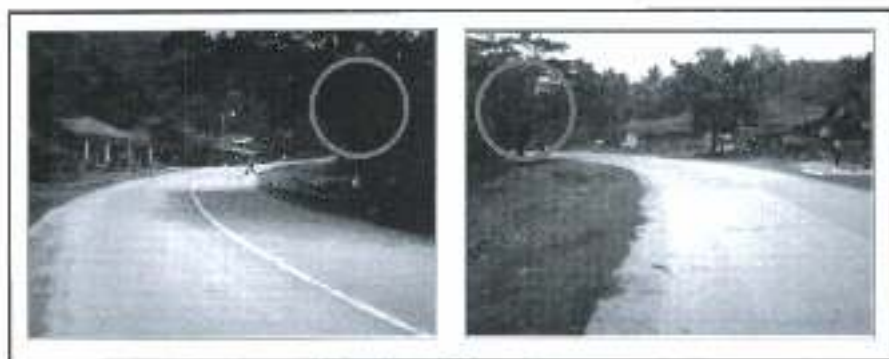
### 3.4 Kecepatan Rencana

Pada kondisi umum kecepatan rencana pada suatu ruas jalan adalah kecepatan yang dipilih sebagai dasar perencanaan geometrik yang memungkinkan kendaraan – kendaraan bergerak dengan aman dan nyaman dalam kondisi cuaca cerah, lalu lintas yang lengang dan pengaruh samping jalan yang tidak berarti.

Dengan fokus pemeriksaan kondisi umum pada Audit Keselamatan Jalan Untuk Tahap Operasional kecepatan rencana pada fungsi jalan kolektor dan daerah perbukitan adalah 50 – 60 km/jam, sedangkan kecepatan operasional pada kondisi turunan untuk kendaraan motor adalah 70 km/jam dan kecepatan operasional pada kondisi turunan untuk kendaraan truk adalah 40 km/jam (*Form Survey Kecepatan*), dan kecepatan operasional pada kondisi tanjakan untuk kendaraan motor adalah 40 km/jam dan kecepatan operasional pada kondisi tanjakan untuk tanjakan kendaraan truk adalah 20 – 21 km/jam (*Form Survey Kecepatan*).

Menurut analisis terhadap kondisi umum pada kecepatan rencana dan kecepatan operasional, alinyemen horizontal dan vertikal sesuai untuk (85%) kecepatan lalu lintas, hanya saja tidak terdapatnya rambu – rambu peringatan, rambu – rambu batas kecepatan dan papan petunjuk kecepatan untuk kurva khusus yang berdampak pada beberapa ruas jalan yang mengalami kecelakaan lalu lintas (*black spot*).

### 3.5 Lansekap



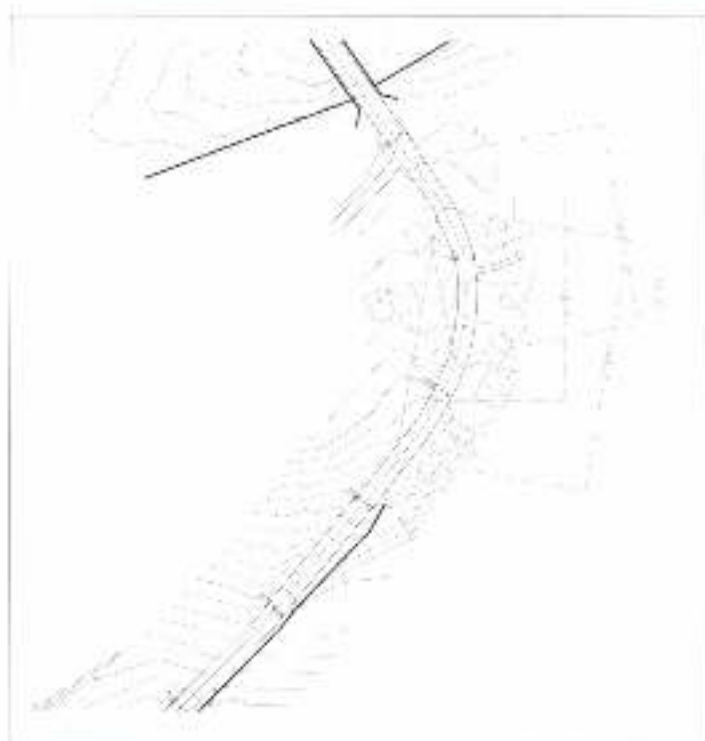
Gambar 5. Lansekap

Dikarenakan kondisi medan jalan berada pada daerah perbukitan, maka terdapat banyaknya pepohonan yang dapat berpengaruh terhadap jarak pandang pengemudi.

### 3.6 Jarak Pandang

Sangat pentingnya jarak pandang pada suatu analisis keselamatan jalan, dimana suatu jarak yang diperlukan oleh seorang pengemudi pada saat mengemudi, sehingga jika pengemudi melihat suatu halangan yang membahayakan pengemudi dapat melakukan sesuatu untuk menghindari bahaya tersebut dengan aman. Jarak pandang maksimum pada kondisi di lapangan untuk arah 1 (Cianjur – Bogor) yaitu 92.84 m dan jarak pandang maksimum untuk arah 2 (Bogor – Cianjur) yaitu 81.36 m.

Pada lansekap diketahui bahwa kondisi medan jalan berada pada daerah perbukitan dimana terdapat banyaknya pepohonan yang dapat menjadi sebuah halangan terhadap jarak pandang pengemudi.



Gambar 6. Jarak Pandang Maksimum di Lapangan

#### 4. BLACKSPOT Km 63+700

Laporan hasil penyelidikan di ruas jalan raya Cibeeet, Kabupaten Cianjur pada Sta 0 – 150 Jawa Barat. Daerah Cibeeet adalah jalan provinsi yang jalannya relatif berbelok – belok dengan kemiringan jalan yang cukup besar yaitu sekitar  $\pm 9,17\%$ . Jalan Cibeeet ini merupakan jalan provinsi yang kondisi lalu lintasnya sangat rendah, dengan 2 lajur 2 arah tak terbagi.

##### 4.1 Analisis Karakteristik Kecelakaan

Pada analisis karakteristik kecelakaan ini metoda yang digunakan didasarkan pada Pedoman Penanganan Lokasi Rawan Kecelakaan Lalu lintas (Pd T-09-2004-B) dengan mengkaji lokasi rawan kecelakaan berdasarkan jumlah kecelakaan. Data Kecelakaan lalu lintas, data geometrik jalan dan data lingkungan. Pada Analisis ini dilakukan berdasarkan konsep 5W + 1H:

- a. *Why* (Penyebab Kecelakaan);
- b. *What* (Tipe Tabrakan/Kecelakaan);
- c. *Where* (Lokasi Kejadian);
- d. *Who* (Penggunaan Jalan Yang Terlibat);
- e. *When* (Waktu Kejadian);
- f. *How* (Tipe Pergerakan Kendaraan).

- a. *Why* (Penyebab Kecelakaan)

Dari hasil analisis kecelakaan lalu lintas ditemukan beberapa penyebab kecelakaan yaitu:

Tabel 1. *Why* (Penyebab Kecelakaan)

Penyebab Kecelakaan	Keterangan
1. Kehilangan Kontrol	Penyebab kendaraan kehilangan kontrol adalah karena kendaraan berjalan dengan kecepatan yang relatif tinggi.
2. Kendaraan Mendahului Kendaraan lainnya	Pergerakan kendaraan untuk mendahului dimungkinkan karena adanya kendaraan yang bergerak lebih lambat sehingga mengganggu pergerakan kendaraan yang berada di belakangnya.
3. Terbatasnya jarak pandang pengemudi	Pada daerah <i>terrace</i> perbukitan biasanya masih banyak terdapat pepohonan yang tumbuh yang di sekitar atau di samping jalan, oleh karena itu pengemudi kendaraan tidak dapat melihatnya adanya obyek atau halangan yang terletak di depannya.
4. Kurangnya Penerangan	Masih kurangnya lampu penerangan jalan di sekitar lokasi kejadian mengakibatkan terjadinya kecelakaan pada malam hari.

b. *What* (Tipe Tabrakan/Kecelakaan)

Dari hasil analisis kecelakaan lalu lintas ditemukan beberapa Tipe tabrakan/kecelakaan yaitu :

Tabel 2. *What* (Tipe Tabrakan/Kecelakaan)

Tipe Tabrakan/Kecelakaan	Keterangan
1. Tabrakan Samping Depan (Kendaraan yang masuk ke ruas jalan)	Kendaraan dari arah Cairjur pada kondisi turunan melaju dengan kecepatan tinggi menabrak kendaraan yang masuk ke ruas jalan yang baru keluar dari jalan kecil ( <i>gang</i> ).
2. Tabrakan Depan – Depan (Pada saat mendahului/menyalip kendaraan di depannya)	Pada kondisi tanjakan, kendaraan berat biasanya melaju kecepata nya dengan lambat ( <i>merangkak</i> ), dan kondisi itu menyebabkan kendaraan yang berada dibelakang ingin mendahului kendaraan berat tersebut, pada saat melakukan penyalipan dari arah berlawanan pada kondisi jalan turunan datang sebuah kendaraan dengan kecepatan yang sangat tinggi, karena saat pengemudi melakukan penyalipan tidak melihat adanya kendaraan yang sedang melaju kencang dari arah berlawanan maka terjadi tabrakan / kecelakaan.



### 3. Kecelakaan Sendiri (Lepas Kendali)

Kendaraan dari arah Cianjur menuju Bogor sering melaju kendaraannya dengan kecepatan yang sangat tinggi karena kondisi jalannya turunan, kendaraan melaju dengan kecepatan yang sangat tinggi sering Keterangan kali mengakibatkan pengemudi kendaraan kehilangan kendali sehingga kendaraannya terhempas dari jalan saat akan melakukan belok ditikungan dan akhirnya menabrak rumah penduduk sekitar.

#### c. *Where* (Lokasi Kejadian)

Lokasi Kecelakaan terjadi di ruas jalan Raya Cibeeet, Kabupaten Cianjur. Ruas jalan raya Cibeeet dapat dikategorikan daerah yang rawan kecelakaan karena mempunyai *terrain* perbukitan dengan trase jalan yang berbelok - belok dan banyak nya lansekap yang sering menjadi pemicu terjadinya kecelakaan akibat jarak pandang yang terganggu.

#### d. *Who* (Pengguna Jalan Yang Terlibat)

Pada analisi ini keterlibatan pengguna jalan di dalam kecelakaan dikelompokkan sesuai dengan tipe pengguna jalan atau kendaraan, yaitu :

- Mobil penumpang umum;
- Mobil angkutan barang;
- Bus;
- Truk berat;
- Sepeda motor

#### e. *When* (Waktu Kejadian)

Kejadian kecelakaan berdasarkan data yang kami dapat pada malam hari (gelap) dikarenakan di ruas jalan raya Cibeeet tidak adanya fasilitas lampu penerangan jalan, dan hal ini menyebabkan kurangnya penglihatan dari pengemudi kendaraan. Sedangkan kejadian kecelakaan di siang hari terjadi karena mendahului dan kehilangan kontrol kendaraan.

#### f. *How* (Tipe Pergerakan Kendaraan)

Pada Kecelakaan di ruas jalan raya Cibeeet ada 3 tipe pergerakan kendaraan, dan tipe pergerakan kendaraan sama dengan tipe tabrakan kecelakaan yaitu :

- Adanya akses jalan ke daerah pemukiman penduduk, dimana kendaraan dari arah Cianjur pada kondisi turunan melaju dengan kecepatan yang relatif tinggi menabrak kendaraan yang keluar dari jalan tempat akses pemukiman penduduk (gung);
- Pada saat mendahului/menyalip kendaraan di depannya, dimana pada kondisi tanjakan, kendaraan berat biasanya melaju kecepatan nya dengan lambat (merangkak), dan kondisi itu menyebabkan kendaraan yang berada dibelakang ingin mendahului kendaraan berat tersebut, pada saat melakukan penyalipan dari arah berlawanan pada kondisi jalan turunan datang kendaraan dengan kecepatan yang sangat tinggi, karena saat pengemudi melakukan penyalipan tidak melihat adanya kendaraan yang sedang melaju kencang dari arah berlawanan maka terjadi tabrakan/ kecelakaan;

- Lepas Kendali, dimana kendaraan dari arah Cianjur menuju Bogor sering melaju kendaraannya dengan kecepatan yang sangat tinggi karena kondisi jalannya turunan, karena kendaraan melaju dengan kecepatan yang sangat tinggi sering kali pengemudi kendaraan kehilangan kontrol sehingga kendaraannya terhempas dari jalan saat akan melakukan belok ditikungan dan akhirnya menabrak rumah penduduk sekitar.

## 5. Usulan Penanganan Kecelakaan Ruas Jalan Antar Kota

**Tabel 3. Usulan Penanganan Kecelakaan Ruas Jalan Antar Kota**

No	Penyebab Kecelakaan	Usulan Penanganan
1.	Kehilangan Kontrol	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Jiggle Area</i> Sebagai alat pengendali kecepatan agar pengemudi kendaraan dapat menurunkan kecepatan kendaraannya ketika memasuki jalan turunan dan memasuki lengkung horisontal</li> </ul>
2.	Mendahului	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rambu Larangan dan Rambu Peringatan Dengan adanya rambu larangan dan rambu peringatan mengingatkan kepada pengemudi bahwa kawasan tersebut merupakan lokasi rawan kecelakaan. Rambu yang diperlukan berupa : rambu batasan kecepatan, rambu adanya jembatan, rambu tikungan tajam, rambu pengarah tikungan dan rambu peringatan daerah rawan kecelakaan.</li> <li>- Marka Lajur Memperpanjang marka garis putih di daerah tikungan, marka yang dipilih sebaiknya marka <i>thermo plastic</i> yang dapat memantulkan cahaya ketika terkena lampu kendaraan di malam hari sehingga dapat terlihat dengan jelas oleh pengguna jalan</li> <li>- Lajur Pendakian</li> <li>- Lajur Mendahului</li> <li>- Zona Tempat Mendahului</li> <li>- Rintang atau Median</li> </ul>
3.	Jarak Pandang Pengemudi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mencabang Pohon, Memapas Bukit dan Memindahkan rumah penduduk. Walaupun Pohon berfungsi sebagai Ruang Terbuka Hijau bagi daerah tersebut tetapi sebaiknya pohon tersebut di tebang agar tidak menghalangi pandangan pengemudi.</li> </ul>

## 6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada bab sebelumnya, maka penulis dapat memberikan kesimpulan sebagai berikut:

- Pada kondisi eksisting, kinerja ruas jalan raya Cibeeet masih dikatakan cukup baik, dan tidak perlu adanya pelebaran jalan ataupun pembuatan alternatif jalan lainnya dikarenakan Derajat Kejenuhan yang terjadi pada ruas jalan raya Cibeeet  $DS = 0,21 < 0,75$ .
- Dari hasil analisis di dapat nilai kelandaian rata-rata sebesar 9,17 %. Sedangkan kelandaian yang diizinkan adalah 8% untuk 50 Km/jam, sehingga kelandaian tersebut tidak memenuhi syarat.
- Dengan kecepatan rencana  $V_n = 50$  km/jam dengan jari-jari tikungan di lapangan adalah  $R = 80$  maka jari-jari tersebut memenuhi persyaratan.
- Untuk analisis jarak pandang dapat dilihat bahwa  $J_d$  untuk kecepatan rencana  $V_n = 50$  km/jam adalah 250 m, dan dari hasil perhitungan di dapat nilai jarak pandang mendahului ( $J_d$ ) 144,78 m, sedangkan jarak pandang maksimum pada kondisi di lapangan untuk arah 1 (Cianjur – Bogor) yaitu 92,84 m dan jarak pandang maksimum untuk arah 2 (Bogor – Cianjur) yaitu 81,36 m. Jadi jarak pandang mendahului pada ruas jalan raya Cibeeet kurang memenuhi persyaratan.

## 7. Saran

Dari hasil analisis dan tinjauan pada bab sebelumnya, maka dilakukan berbagai usulan penanganan untuk mengatasi masalah kecelakaan yang terjadi pada ruas jalan raya Cibeeet. Adapun usulan – usulan penanganan kecelakaan sebagai berikut:

- Dibuat lajur pendakian pada daerah tanjakan yang memiliki kelandaian maksimum untuk kecepatan operasional lebih besar dari kelandaian maksimum untuk kecepatan rencana;
- Dipasang rambu – rambu larangan, rambu perintah, rambu petunjuk pada jarak 80m sebelum lokasi;
- Dipasang lampu penerangan jalan raya agar kondisi jalan dapat terlihat oleh pengemudi. di pasang mata kucing pada guard rail dan garis strip putih /kuning pada pepohonan untuk memantulkan cahaya akibat lampu kendaraan;
- Dibuat *Jiggle area* pada daerah turunan yg kelandaiannya cukup curam untuk mengurangi kecepatan kendaraan.
- Dibuat marka menerus pada daerah tikungan agar tidak ada kendaraan yang mendahului.

## Daftar Pustaka

- Undang – Undang Republik Indonesia No 22, *Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*, Jakarta, 2009.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*, Februari 1997.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, *Tata Cara Pemasangan Rambu dan Marka Jalan*, Jakarta, Februari 1991.
- Departemen Pekerjaan Umum, *Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota*, Jakarta, September 1997.
- Departemen Pekerjaan Umum, *Audit Keselamatan Jalan*, Jakarta, 2005.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, *Penanganan Lokasi Rawan Kecelakaan Lalu Lintas*, Jakarta, September 2004.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, *Marka Jalan*, Jakarta, Mei 2004.

## Analisa Kegagalan Bantalan Luncur (*Bush*) pada Poros Sepatu Rem Kereta Api

Adi Ganda Putra\*  
Pawawoi\*\*

\*Jurusan Teknik Mesin

\*\*Jurusan Teknik Metalurgi

Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Achmad Yani

**Abstrak.** Bantalan Luncur (*Bush*) pada poros sepatu rem kereta api berfungsi membantu proses pengereman yang terjadi pada kereta api yang akan berhenti. Kegagalan bantalan luncur dalam membantu proses pengereman yang terjadi pada kereta api akan mengakibatkan kereta bisa tergelincir atau yang lebih fatal akan mengakibatkan terjadinya kecelakaan. Kerusakan pada bantalan luncur ini terjadi karena adanya konsentrasi tegangan sehingga tegangan yang diterima melebihi kekuatan dari bantalan luncur. Akibatnya bantalan luncur mengalami patah. Tegangan yang terjadi akibat adanya konsentrasi tegangan sebesar  $21,32 \text{ kgf/mm}^2$  sedangkan tegangan yang diijinkan adalah  $16,4 \text{ kgf/mm}^2$ . Perbedaan yang besar ini menyebabkan terjadinya deformasi dan patah pada bantalan luncur. bentuk patahan yang terjadi berupa patah transgranular. sehingga pada material *bush* yaitu patah transgranular.

**Kata kunci :** *Bantalan Luncur, poros, sepatu rem, konsentrasi tegangan dan patah transgranular*

### I Pendahuluan

Jasa angkutan kereta api yang diinginkan masyarakat adalah yang dapat berfungsi untuk mendekatkan dua atau lebih lokasi dengan jarak waktu yang cepat dengan biaya yang murah sehingga mempunyai nilai sosial dan ekonomi yang tinggi. Untuk menunjang tuntutan tersebut, maka kehandalan operasi dan tingkat keselamatan, ditentukan dari faktor pemeliharaan disamping disiplin dan ketrampilan aparat yang menjalankan tugasnya sehingga mampu melakukan efisiensi biaya operasional, karena setiap gerakan operasional selalu menyebabkan pengeluaran biaya dan energi yang selalu berkaitan dengan biaya. Dengan ini kerusakan sekecil apapun dalam seluruh desain maupun mesin kereta api harus dapat ditanggulangi dan dikurangi melalui analisa kegagalan yang nantinya dapat mempermudah cara untuk menanggulangi dan mempermudah untuk mencegah kerusakan-kerusakan tersebut.

Sistem pengereman pada kereta api memegang peranan penting dalam hal keselamatan, sehingga kerusakan komponen pada bagian dalam sepatu rem kereta api akan dapat berakibat fatal dalam operasionalnya. Kegagalan pada bantalan luncur (*bush*) poros blok sepatu rem kereta api yang berfungsi sebagai peredam pada saat pengereman berlangsung. Pcaahnya bantalan luncur pada sepatu rem kereta api mengakibatkan bantalan tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya dan akibatnya fatal karena sistem pengereman roda menjadi tidak sempurna, sehingga menghambat operasional yang berpengaruh terhadap masalah waktu dan biaya yang dikeluarkan lebih besar dan yang utama dapat berdampak pada resiko terjadinya kecelakaan.

## 2 Metode Penelitian

Langkah awal dalam menganalisa kegagalan yang terjadi pada suatu komponen material adalah pemeriksaan visual. Pemeriksaan visual adalah suatu bentuk pemeriksaan yang dilakukan dengan mata telanjang (dengan pengamatan langsung) pada permukaan material yang mengalami kegagalan. Kemudian dilanjutkan dengan analisa fraktografi yang merupakan suatu metode untuk mempelajari retakan pada permukaan patahan, sehingga didapat kesimpulan sementara penyebab terjadinya kegagalan.

Selanjutnya dilakukan pemeriksaan komposisi kimia untuk memastikan komposisi kimia bantalan luncur sesuai dengan spesifikasi bantalan luncur yang direkomendasikan untuk bahan bantalan luncur. Pengujian metalografi dan kekerasan dilakukan untuk melihat apakah terjadi perubahan sifat mekanik pada bantalan luncur yang berupa perubahan fasa ataupun mengalami peningkatan kekerasan.

## 3 Data dan Pembahasan

### 3.1 Pemeriksaan Makro

Bantalan luncur pada poros sepatu rem yang mengalami kerusakan atau patah terjadi pada kereta api ekonomi jurusan Bandung – Jakarta. Posisi dan kerusakan pada bantalan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Posisi dan kerusakan bantalan pada poros sepatu rem kereta api



Gambar 2 Perumbatan retakan pada bantalan luncur poros sepatu rem kereta api

Gambar 1 menunjukkan jenis kerusakan yang terjadi pada bantalan luncur yang terdiri atas keausan, *missing material* dan retakan. Keausan yang terjadi tidak hanya pada bagian luar *bush* poros sepatu rem saja tetapi juga pada bagian dalam berupa adhesi dengan adanya *galling* (lubang-lubang) akibat hilangnya material bantalan luncur yang menempel poros blok sepatu rem. Hal ini terjadi karena material bantalan luncur ini dirancang lebih lunak dari poros sepatu rem yang akan mempermudah proses pemeliharannya.

Gambar 2 memperlihatkan retakan yang terjadi berupa retak getas dengan ditandai permukaan retakan yang memiliki pola perambatan retak *radial mark*. Pada permukaan retakan tidak terlihat adanya deformasi elastis secara makro yang ditunjukkan dengan penampang patahannya mengkilat. Retakan mula-mula terjadi pada dinding bantalan luncur yang mengalami penipisan akibat adanya tekanan dari poros pada saat pengereman. Karena pengereman terjadi berulang-ulang maka dinding bantalan luncur mengalami deformasi plastis sehingga permukaan bantalan menipis dan menyebabkan terjadinya efek getas. Penggetasan ini akan menyebabkan retakan yang selanjutnya saling bertemu pada satu lokasi hingga berakibat pada pelepasan sebagian material (*missing material*). Karena pemeriksaan gerbong kereta dilakukan 2 tahun sekali, maka kerusakan ini tidak terdeteksi. Akibatnya komponen lain seperti *brake block head* (rumah sepatu rem) mengalami keausan pada lubangudukan bantalan luncur yang akan menyebabkan peningkatan getaran dan kelonggaran antar komponen pengikat lengan dengan *triangle*.

### 3.2 Pengujian Komposisi Kimia

Hasil pengujian komposisi kimia ditunjukkan ada tabel 1.

Tabel 1 Hasil pengujian komposisi kimia bantalan pada poros sepatu rem kereta api

Unsur	Simbol	% Berat Hasil pengujian	Standart AISI 1010 (% Berat) <sup>(10)</sup>
Karbon	C	0,08	0,08-0,13
Mangan	Mn	0,44	0,30-0,60
Phospor	P	0,025	0,040max
Sulfur	S	0,024	0,050max
Silikon	Si	0,03	-
Crom	Cr	0,06	-
Besi	Fe	Sisa	Sisa

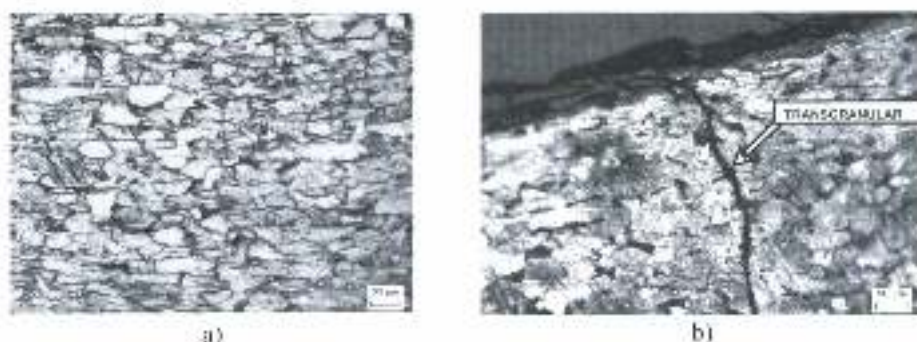
Dari hasil pemeriksaan komposisi kimia diketahui material bantalan luncur sesuai dengan standar STKM 1 6A atau AISI 1010.

### 3.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada bagian luar dari bantalan luncur poros sepatu rem yang mengalami keausan dan bagian penampang permukaan yang tidak mengalami kerusakan. Kekerasan rata-rata pada bagian yang mengalami keausan adalah 204,2 Hv dan bagian yang tidak mengalami keausan adalah 176,4 Hv.

### 3.4 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan pada bantalan luncur poros sepatu rem yang mengalami patah seperti ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 2 Struktur mikro bantalan luncur poros sepatu rem kereta api yang terdiri dari fasa ferit (putih) dan perlit (hitam), a) daerah yang mengalami keausan, b) daerah yang mengalami patah

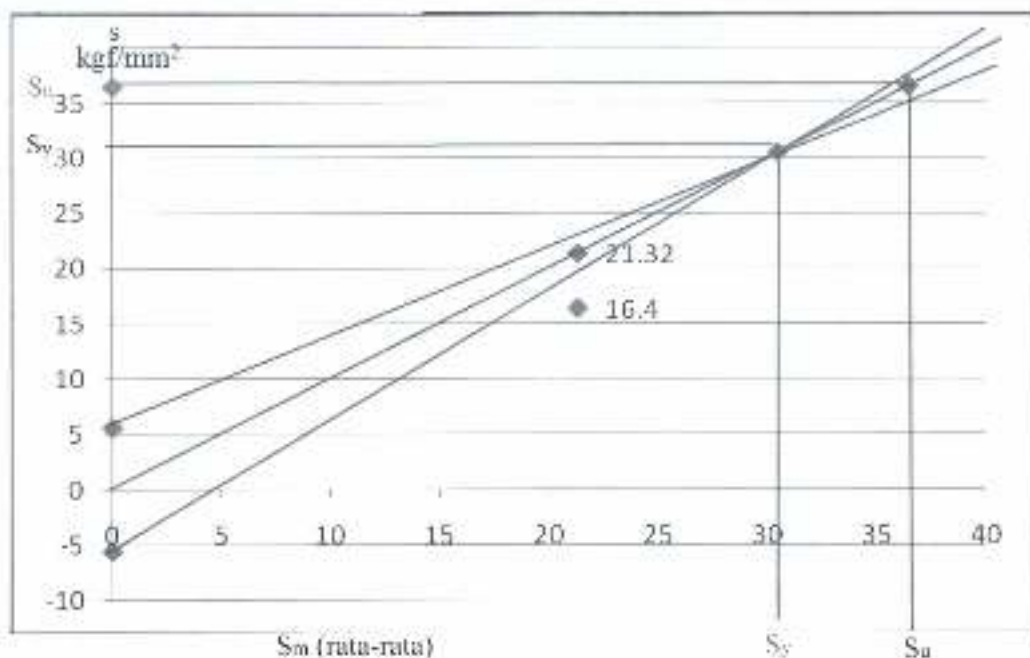
Pada struktur mikro bantalan luncur poros sepatu rem yang mengalami patah menunjukkan adanya perubahan bentuk butir yang berbentuk pipih yang menunjukkan adanya proses deformasi pada saat pemakaian.

### 3.5 Pembahasan

Dari pemeriksaan makro menunjukkan bahwa bantalan luncur poros sepatu rem mengalami keausan yang tidak merata pada permukaan luar pada bagian tertentu yang disebabkan adanya tekanan dari poros yang bekerja saat pengereman. Karena tidak simetris (miring) maka terjadi keausan dan retak pada sisi bantalan luncur poros sepatu rem. Hal ini terjadi karena konsentrasi tegangan pada poros terjadi pada satu sisi saja, sehingga kerja poros tidak sesuai yang mengakibatkan munculnya retakan. Penggantian sepatu rem hanya dilakukan pada bagian yang mengalami kerusakan sehingga terjadi ketidak seimbangan pada waktu pengereman.

Dari hasil pengujian kekerasan terjadi peningkatan kekerasan material bantalan luncur poros sepatu rem dari 192,4 Hv pada daerah yang tidak mengalami keausan menjadi 206,3 Hv pada daerah aus. Hal ini disebabkan oleh adanya gesekan yang menyebabkan deformasi plastis secara mikro dan adanya tekanan dari poros yang menyebabkan deformasi plastis secara makro, sehingga terjadi proses penguatan regangan (*strain hardening*).

Salah satu cara untuk mengetahui penyebab kegagalan pada komponen bantalan luncur poros sepatu rem pada kereta api yaitu dengan menganalisa tegangan yang terjadi akibat pembebanan pada saat pengoperasiannya. Dari hasil perhitungan, kehilangan material selama satu siklus pengereman adalah 0,17 mm<sup>3</sup>. Karena selama pemakaian ada 3320 siklus maka total kehilangan material sebesar 253,98 mm<sup>3</sup> atau 1981,044 gr. Dan apabila gaya-gaya yang bekerja dihitung selama pemakaian bantalan luncur pada poros sepatu rem dan diplot dalam diagram *goodman*, maka dihasilkan gambar sebagai berikut:



Gambar 3 Diagram Goodman bantalan pada poros sepatu rem kereta api

Tegangan yang bekerja pada bantalan luncur pada poros sepatu rem sebesar 24,32 kgf/mm<sup>2</sup> berada dalam daerah yang tidak aman sehingga sewaktu-waktu dapat mengalami patah.

#### 4 Kesimpulan

1. Faktor – faktor penyebab terjadinya kegagalan adalah :
  - a. Terjadinya keausan adhesi, retak getas *transgranular*, dan *missing metal*.
  - b. Peningkatan nilai kekerasan rata-rata Material bush poros sepatu rem sebesar 5,7 % setelah terjadi keausan (197,4 HV menjadi 206,3 HV).
  - c. Adanya konsentrasi tegangan sebesar 1,3 menyebabkan peningkatan tegangan menjadi 21,32 kgf/mm<sup>2</sup> sehingga mengakibatkan material AISI 1010 pada bantalan luncur poros sepatu rem ini mengalami kegagalan.
2. Kerusakan bantalan yang terjadi dalam waktu 83 hari kerja, mengharuskan pihak kereta api harus memeriksa dan mengganti komponen bantalan maksimal 3 bulan kerja.

#### Daftar Pustaka

1. Sularso, "Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin", PT.Pradnya Paramita, 1994.
2. Hartono As, "Konstruksi dan Perkembangan Bogie Kendaraan Rel", PJK, 1985.
3. Metals Handbook, American Society for Metals Volume 7, "Atlas of Microstructures of Industrial Alloys", 1972.
4. Metals Handbook ASM volume 1, "Properties and Selection of Metals", 1961.
5. Metal Handbook ASM volume 11, "Failure Analysis And Prevention"
6. Dieter, G.E 1989. *Mechanical Metallurgy*, Mc, Graw Hill, New York



## Pengaruh Proses Karburasi Padat (*Pack Carburizing*) terhadap Sifat Mekanik pada Baja Pegas JIS SUP 6

R. Henny Mulyani

Jurusan Teknik Metalurgi  
Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Achmad Yani

**Abstrak.** Karburisasi merupakan suatu proses perlakuan termokimia yang dilakukan untuk mengerasakan permukaan baja dengan menambahkan unsur karbon pada permukaannya sehingga terbentuk fasa martensit yang memiliki sifat kekerasan yang lebih baik dibanding matriksnya. Umumnya proses ini dilakukan pada baja yang memiliki kadar karbon yang rendah sehingga tidak bisa dikeraskan dengan proses celup cepat.

Karburisasi padat (*pack carburizing*) merupakan metoda karburisasi yang paling sederhana dengan menggunakan serbuk arang sebagai sumber karbon yang diharapkan akan berdifusi ke dalam permukaan baja. Proses ini dilakukan dengan pemansan pada temperatur 900°C selama 2 jam kemudian diikuti dengan pendinginan celup cepat di dalam air. Material yang digunakan adalah baja pegas JIS SUP 6 yang memiliki kadar karbon 0,6% C. Dari hasil pengujian kekerasan menunjukkan kekerasan setelah proses karburisasi lebih tinggi dengan nilai kekerasan 440 Hv dibanding sebelum proses dengan 180 Hv. Sedangkan fasa yang dihasilkan dari proses ini adalah fasa martensit.

**Kata kunci :** *Pack carburization, serbuk arang, difusi karbon, celup cepat, baja pegas dan martensit*

### 1 Pendahuluan

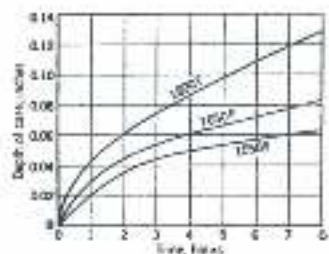
Industri kecil yang menggunakan bahan baku logam yang sudah ada sejak dulu adalah industri pembuatan berbagai jenis pisau, alat-alat pertanian dan lain-lain. Salah satu proses yang sangat menentukan hasil produknya adalah proses karburisasi. Proses ini menggunakan arang kayu yang dipanaskan bersama-sama dengan logam yang akan dibentuk yang kemudian didinginkan di dalam air.

Penelitian ini mencoba melihat sejauh mana pengaruh proses karburisasi padat (*pack carburizing*) yang dilakukan terhadap sifat mekanik yang dihasilkan dalam hal ini sifat kekerasannya dengan menggunakan material baja pegas JIS SUP 6.

### 2 Tinjauan Pustaka

Karburisasi dengan media padat merupakan suatu proses pengambilan karbon monoksida dari senyawa padat (serbuk arang dan katalisator) sehingga membentuk karbon dan karbon dioksida pada permukaan logam. Karbon tersebut diserap ke dalam logam, dan karbon dioksida bereaksi cepat dengan material karbonisasi yang diperoleh dari senyawa karburisasi untuk menghasilkan karbon monoksida yang baik. Semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi pula laju difusi karbon. Waktu penahanan temperatur karburisasi merupakan faktor yang sangat mempengaruhi dalam hal mengendalikan kedalaman-

penetrasi dari karbon. Pada gambar 1 dibawah ini dapat dilihat laju karburisasi dengan variasi temperatur dan waktu

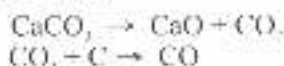


Gambar 1 Laju karburisasi didalam senyawa padatan dengan variasi temperatur

Didalam metoda karburisasi padat bahan karburasi (*agen*) harus dalam keadaan padat. Bahan yang sering digunakan adalah grafit, arang kayu, arang tempurung kelapa dan batu-bara. Agar proses difusi karbon pada material berlangsung dengan baik maka dicampur dengan senyawa kimia yang berfungsi untuk mempercepat reaksi yang disebut sebagai katalisator (*enegizer*). Umumnya katalisator yang dipakai adalah barium karbonat ( $BaCO_3$ ), kalsium karbonat ( $CaCO_3$ ) dan sodium karbonat ( $Na_2CO_3$ ). Adapun komposisi campuran senyawa karburisasi dengan katalisator yang digunakan pada penelitian ini adalah kalsium karbonat ( $CaCO_3$ ) yang berasal dari kerang darah (*Anadara Granosa*).

**2.1 Mekanisme Reaksi pada Proses Karburisasi Padat**

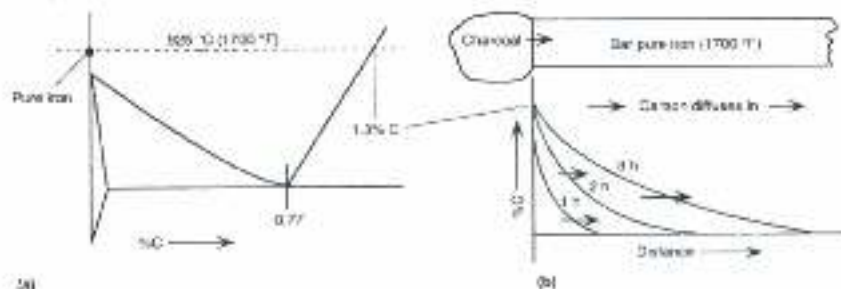
Proses pemanasan karburisasi padat dilakukan dalam wadah (*container*) yang mengandung gas karbon monoksida dan gas karbon dioksida. Gas-gas ini merupakan hasil dari proses oksidasi dari senyawa karbon yang digunakan dalam proses karburisasi. Untuk mempercepat reaksi digunakan katalisator kalsium karbonat yang selama waktu pemanasan akan menghasilkan reaksi sebagai berikut:



Mula-mula CO, terbentuk kemudian bereaksi dengan karbon dalam arang kayu menghasilkan gas aktif CO. Gas CO yang terbentuk kemudian larut kedalam besi pada fasa austenit,  $Fe_3C$  sedangkan gas  $CO_2$  yang terbentuk bereaksi dengan CaO menghasilkan  $CaCO_3$ .

**2.2 Carburizing dan Decarburizing**

Penjelasan proses karburisasi dan dekarburisasi ini mengacu pada aplikasi yang terjadi pada pundai besi (*blacksmith*).

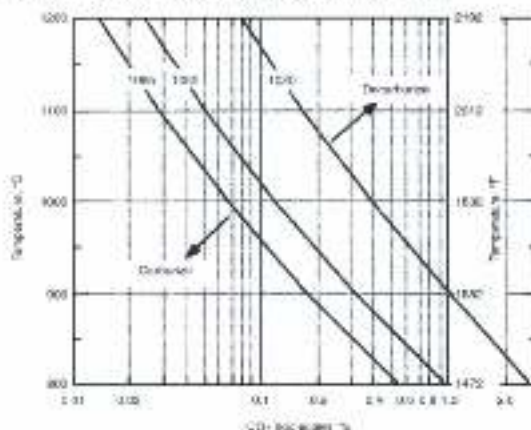


Gambar 2 (a) Diagram fasa Fe-C, besi (b) Difusi karbon kedalam besi murni

Baja dipanaskan dalam batu bara kemudian ditempa seperti yang dilakukan oleh pandai besi (*Blacksmith*). Udara yang mengandung campuran 20% oksigen ( $O_2$ ) dan 80% nitrogen ( $N_2$ ) akan bereaksi dengan karbon membentuk gas  $CO$  dan  $CO_2$ . Nitrogen di udara tidak beraksi selama proses pembakaran. Umumnya jika campuran mengandung  $CO_2$  yang berlebih maka permukaan baja akan mengalami dekarburisasi bahkan bisa terbentuk oksidasi berupa lapisan oksidasi besi di permukaan. Jika campuran mengandung  $CO$  berlebih maka baja akan mengalami karburisasi bahkan mungkin bisa saja di permukaan terbentuk sementit atau grafit seperti reaksi dibawah ini :



$[C]_s$  menyatakan konsentrasi atom karbon yang larut dalam baja. Jika reaksi mengarah ke kanan maka akan terbentuk dekarburisasi sedangkan jika reaksi mengarah ke kiri maka akan terbentuk karburisasi. Reaksi diatas menunjukkan molekul  $CO$  yang terurai pada permukaan baja, yang melarutkan karbon dalam baja menghasilkan molekul  $CO_2$ . Jumlah relatif  $CO$  vs  $CO_2$  dalam gas akan menentukan proses yang terjadi yang terdiri atas karburisasi, dekarburisasi atau oksidasi. Jika  $CO$  meningkat reaksi akan mengarah ke kanan dan pembentukan oksida akan meningkat. Gambar 3 menunjukkan tiga buah baja 1020, 1060, dan 1095 yang diasumsikan mengandung 0,75% Mn.



Gambar 3 Proses pembentukan karburisasi dan dekarburisasi yang dipengaruhi oleh kadar  $CO_2$

### 3 Metode Penelitian

Proses karburisasi dilakukan dalam tungku perupian dengan asumsi sama dengan tungku perupian yang digunakan oleh pandai besi di lapangan (industri kecil). Alat lain adalah blower 1 PK, termometer, termokopel (terbuat dari bahan chromel alumel), penjepit, arang kayu (bahan bakar) dan wadah sementasi. Sedangkan bahan karburisasi terdiri atas karbon / arang batok kelapa 70%, kalsium karbonat / kerang darah 30% dan media pendingin air.

Tungku dipanaskan bersama dengan arang kayu sampai bara berwarna merah kemudian temperatur diukur menggunakan termokopel sampai 900°C. Temperatur dipertahankan dengan menggunakan blower (pengaturan kecepatan putaran blower) selama 2 jam, kemudian diceklup cepat atau didinginkan di air.

## 4 Data dan Pembahasan

### 4.1 Pengujian Komposisi Kimia

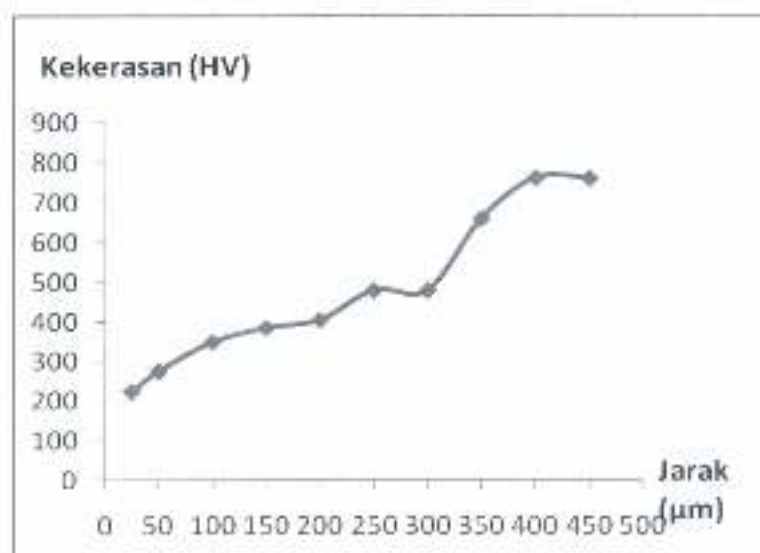
Pengujian komposisi kimia baja pegas JIS SUP 6 ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 1 Komposisi kimia baja pegas JIS SUP 6

Unsur	Hasil Spektrometr (%)	Standar JIS SUP 6 (%)
C	0,615	0,55 – 0,65
Si	1,62	1,5 – 1,80
Mn	0,838	0,70 – 1,00
P	0,0157	Max 0,035
S	0,0221	Max 0,035

### 4.2 Pengujian Kekerasan

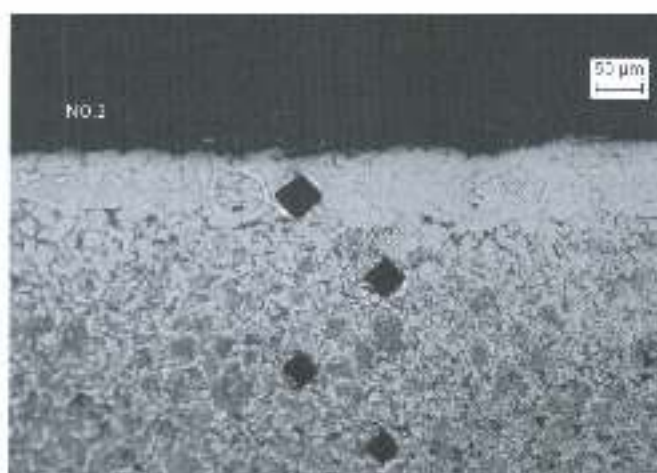
Hasil pengujian kekerasan ditunjukkan pada gambar 4 dalam bentuk kurva kekerasan terhadap jarak.



Gambar 4 Kurva kekerasan terhadap jarak.

### 4.3 Pengujian Struktur Mikro

Hasil pengujian struktur mikro ditunjukkan pada gambar 5 dengan proses dekarburasi yang dialami oleh material. Fasa yang dihasilkan didominasi fasa martensit.



Gambar 5 Struktur mikro baja pegas JIS SUP 6 hasil proses dekarburasi dalam tungku perapian pada  $T=900^{\circ}\text{C}$ ,  $t = 2$  jam dan diquench di air

#### 4.4 Pembahasan

Dari hasil pengujian komposisi kimia, komposisi kimia hasil spektrometri sesuai dengan standar JIS SUP 6 dengan kadar karbon 0,6%C. Kadar karbon ini penting untuk melihat sejauh mana pengaruh proses karburasi padat yang dilakukan terhadap difusi karbon dari bahan karburasi pada permukaan spesimen.

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan kekerasan pada permukaan baja pegas JIS SUP 6 sebesar 223 Hv sedangkan pada kedalaman 450  $\mu\text{m}$  kekerasan yang dihasilkan mencapai 763 Hv. Dari hasil proses karburisasi ternyata tidak terjadi lapisan karburisasi di permukaan melainkan proses dekarburisasi. Hal ini disebabkan oleh adanya unsur karbon yang besar di permukaan yang akan memberikan karbonnya ke bagian yang kurang pada bagian dalam material sehingga pada akhirnya dihasilkan sifat yang lunak di bagian permukaan dan keras dibagian dalam material. Hal ini disebabkan oleh adanya atmosfer tungku yang tidak homogen sehingga atom karbon yang berpindah dari permukaannya melalui proses oksidasi membentuk  $\text{CO}_2$ , jadi konsentrasi karbon didekat permukaan turun dan atom karbon akan lebih banyak berdifusi ke luar permukaan dan berpindah menghasilkan lapisan dekarburasi.

Hal ini diperjelas dari struktur mikro yang dihasilkan dengan fasa ferit dan perlit pada permukaan sementara pada kedalaman 300  $\mu\text{m}$  sampai dengan 450  $\mu\text{m}$  terbentuk fasa martensit.

#### 5 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan ::

1. Komposisi kimia material uji sesuai dengan standar baja pegas JIS SUP 6
2. Kekerasan yang diperoleh setelah proses karburisasi sebesar 440 HV lebih besar dari kekerasan material awal (180 HV)
3. Proses yang terjadi adalah proses dekarburasi sehingga kekerasan pada permukaan lebih kecil dibanding pada kedalaman 450  $\mu\text{m}$ .
4. Fasa yang dihasilkan pada permukaan merupakan fasa ferit dan perlit.

**Daftar Pustaka**

1. Suratman, Rohim (1994) : Panduan Perlakuan Panas, ITB, hal 131.
2. Dieter, E. George (1988) : Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill Book Company (UK).
3. Krauss, George (1990) : Heat Treatment and Processing Principle, ASM, Ohio, 43, 44, 50, 281-284.
4. K-E Thelning (1981) : Steel and its Heat treatment, Butterworth, London, 23-29, 339-350.
5. Metal Handbook (1981) : Volume 4 Heat Treating, ASM, 222.
6. Metal Handbook (1972) : Vol 7 Atlas of Microstructures of Industrial Alloys, ASM, 44-49.
7. Vander voort (1984) : Metallography Principle and Practice, McGraw-Hill.
8. JICA (1974) : Precaution Against Failure of Heat Treatment, Butterworth, Nagoya International Training Center, 37, 38, 88, 91.
9. Verhoeven, DJ (2007) : Steel Metallurgy for The Non Metallurgist, ASM International, 63-70.
10. Leslie, WC (1983) : The Principal Metallurgy of Steels, McGraw-Hill International, 305.
11. Sinha, AK (2003) : Physical Metallurgy Handbok, Butterworth Publisher, 12, 20.
12. JIS (1984) : JIS G 4801 Spring Steels, Japanese Standard Association, 1596-1597.
13. American Standard for Testing Materials : ASTM E92 Standard Test for Vickers Hardness of Metallis Materials, 273-283

## Evaluasi Fungsional Perkerasan Jalan Dengan Menggunakan Metode *Pavement Condition Index* (PCI) Studi Kasus Ruas Jalan Cihampelas – Bandung

Agus Juhara, ST., MT.

Dini Andariani, ST.

Lina Yunliana, ST.

Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik – Universitas Jenderal Achmad Yani

**Abstrak.** Studi evaluasi kondisi kerusakan jalan pada penelitian dilakukan melalui survei visual sesuai dengan prosedur metode PCI, yaitu dengan mengukur panjang, lebar, dalam serta luasan dari tiap kerusakan yang terjadi, tingkat kerusakan yang terjadi dan density kerusakan. Kategori jenis kerusakan yang ditinjau adalah *alligator cracking, bleeding, block cracking, bumps and sags, corrugation, depression, edge cracking, joint reflection, lane/shoulder drop off, longitudinal and transverse cracking, patching and utility cut patching, polished aggregate, potholes, railroad crossings, rutting, shoving, slippage cracking, swell, weathering and ravelling*. Untuk analisa pengambilan keputusan digunakan metode pendekatan *Pavement Condition Index* (PCI).

Studi dilakukan terhadap ruas jalan Cihampelas Bandung, dengan panjang jalan yang diamati sepanjang 2,8 km yang dibagi dalam 56 segmen jalan dimana tiap segmen panjangnya 50 m. Jenis kerusakan yang terjadi pada ruas jalan Cihampelas Bandung terdiri dari *ravelling, alligator cracking, patching, longitudinal and transverse cracking, shoving, corrugation, depression, potholes dan rutting*. Hasil analisa menggunakan metode PCI didapat nilai PCI terendah di tiap unit sampel jalan Cihampelas yaitu pada unit sampel 14 dengan nilai PCI 42 dengan kualitas kondisi perkerasan fair.

**Kata Kunci :** *Pavement Flexible, Pavement Condition Index (PCI)*

### 1. Pendahuluan

#### 1.1 Latar Belakang Penulisan

Jalan merupakan sarana transportasi yang sangat penting untuk menunjang kelancaran perhubungan darat dan memegang peranan dalam pertumbuhan ekonomi suatu daerah. Oleh sebab itu, jalan memerlukan perhatian khusus agar selalu dapat melayani pengguna jalan dengan aman dan nyaman sesuai dengan kelas dan fungsi jalan itu. Jalan juga merupakan infrastruktur yang sangat vital dan merupakan investasi modal yang besar. Prasarana jalan yang terbebani oleh volume lalu lintas yang tinggi dan berulang-ulang akan menyebabkan terjadi penurunan kualitas jalan berupa jalan menjadi tidak nyaman untuk dilewati oleh pengendara. Selain itu, dengan bertambahnya jumlah penduduk dan meningkatnya pertumbuhan ekonomi masyarakat, memungkinkan bertambahnya jumlah kendaraan yang akan menambah pergerakan lalu lintas di jalan. Dengan pertumbuhan lalu lintas yang cenderung meningkat melewati ruas jalan tersebut, akan mempunyai dampak dan pengaruh yang merugikan kemampuan pelayanan struktur perkerasan dan kapasitas jalan yang ada. Sebagai indikator terjadinya penurunan kualitas jalan dapat dilihat dari kondisi permukaan jalan.

Salah satu bagian jalan yang kondisinya diharapkan selalu dalam kondisi yang baik adalah perkerasan jalan, baik dari segi struktur maupun fungsional. Kinerja struktural akan berhubungan dengan kemampuan struktur perkerasan untuk dapat menahan beban lalu lintas, sedangkan kinerja fungsional akan berhubungan dengan tingkat kenyamanan yang dapat diberikan oleh perkerasan itu sendiri. Sejumlah bagian jalan bahkan ruas jalan pada akhir-akhir ini banyak dijumpai dalam kondisi rusak dengan berbagai jenis tingkatannya. Kerusakan tersebut bahkan banyak yang dapat dikategorikan sebagai rusak berat dan sedang. Salah satu ruas jalan yang banyak mengalami kerusakan di kota Bandung yaitu di sepanjang ruas jalan Cihampelas, dimana jalan tersebut setiap harinya padat dilalui arus kendaraan.

Pengamatan/pengukuran kerusakan dimulai dari Sta 0+000 sampai Sta 2+529. Sebagai jalan yang berstatus sebagai jalan kolektor primer, jalan Cihampelas juga merupakan salah satu pusat perbelanjaan yang sering dikunjungi para pengguna jalan sehingga sering mengalami kemacetan. Berdasarkan tinjauan langsung di lapangan, salah satu penyebab kerusakan jalan di Cihampelas dikarenakan kepadatan arus kendaraan yang melewati jalan tersebut setiap harinya. PCI merupakan indeks numerik yang bernilai antara 0 untuk kondisi perkerasan rusak parah sampai 100 untuk kondisi memuaskan. Metode PCI juga telah digunakan sebagai standar dalam ASTM D5340 dan D6433 untuk perkerasan bandar dan perkerasan jalan. Dari hasil penelitian dengan metode PCI, akan diketahui kondisi perkerasan jalan Cihampelas saat ini dan dapat ditentukan prioritas penunangan perbaikan perkerasan jalan tersebut.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui jenis dan tingkat kerusakan jalan Cihampelas
2. Menetapkan nilai kondisi perkerasan jalan dengan *metoda pavement Condition Index (PCI)*
3. Menentukan alternative perbaikan dan pemeliharaan yang tepat

## 1.3 Ruang Lingkup Penulisan

Dalam penyusunan penelitian ini, ruang lingkup pembahasan yang dikaji yaitu :

1. Pembagian ruas jalan menjadi beberapa unit sampel untuk memudahkan pengukuran setiap jenis kerusakan;
2. Pengukuran beberapa jenis kerusakan pada permukaan perkerasan, seperti *cracking, distortion dan bleeding*;
3. Penentuan tingkat kerusakan (*distress severity*) dari hasil pengukuran;
4. Perhitungan nilai *deduct, total deduct* dan *corrected deduct value (CDV)* berdasarkan hasil perhitungan setiap jenis kerusakan;
5. Perhitungan nilai *Pavement Condition Index (PCI)*;
6. Penentuan rating kondisi perkerasan serta alternatif perbaikan berdasarkan jenis kerusakannya.

## 2. Tinjauan Pustaka

Perkerasan jalan adalah konstruksi yang dibangun di atas lapisan tanah dasar (*subgrade*), yang berfungsi untuk menopang beban lalu lintas. Tujuan dilakukannya survey kinerja perkerasan adalah untuk menentukan perkembangan dari kerusakan perkerasan, sehingga



dapat dilakukan estimasi biaya pemeliharaan. Selain itu, survey kinerja perkerasan juga berguna untuk menentukan sebab-sebab dan pengaruh dari kerusakan perkerasan. Adapun fungsi perkerasan jalan diantaranya :

1. Untuk memberikan permukaan rata/halus bagi pengendara
2. Untuk mendistribusikan beban kendaraan di atas formasi tanah secara memadai, sehingga melindungi tanah dari tekanan yang berlebihan.
3. Untuk melindungi formasi tanah dari pengaruh buruk perubahan cuaca.

Karakteristik perkerasan bergantung tidak hanya pada sifat lalu lintasnya tapi juga pada sifat-sifat tanah dimana perkerasan dibangun.

Kinerja perkerasan merupakan fungsi dari kemampuan relatif suatu perkerasan untuk melayani lalu lintas dalam periode tertentu (*Highway Research Board*, 1962). Kinerja perkerasan jalan ditentukan berdasarkan persyaratan kondisi fungsional dan kondisi struktural, seperti yang dijelaskan di bawah ini:

1. Kinerja Fungsional : merupakan kemampuan dari struktur perkerasan untuk melaksanakan fungsi yang baik bagi pengguna jalan. Fungsi tersebut mencakup keamanan dan kenyamanan dalam berkendara. Adapun persyaratan dari kinerja fungsional antara lain :
  - a. Permukaan rata, tidak bergelombang atau melendut dan tidak berlubang.
  - b. Permukaan cukup kasar sehingga permukaan perkerasan tidak licin atau tidak mudah selip.
  - c. Permukaan mudah mengalirkan air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya dapat dengan cepat dialirkan ke saluran samping
2. Kinerja Struktural : merupakan kemampuan dari struktur perkerasan untuk menahan beban lalu lintas dan lingkungan.

Untuk menunjang kinerja perkerasan yang baik, maka suatu kinerja perkerasan harus meliputi keamanan, wujud perkerasan jalan dan fungsi pelayanan. Keamanan jalan ditentukan oleh besarnya gesekan akibat adanya kontak antara ban dan permukaan jalan. Besarnya gaya gesek yang terjadi dipengaruhi oleh bentuk dan kondisi ban, tekstur permukaan jalan, kondisi cuaca dan sebagainya.

Menurut Manual Pemeliharaan Jalan Nomor : 03 / MN / B / 1983 yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, kerusakan jalan dapat dibedakan menjadi:

1. Retak (*cracking*)
2. Distorsi (*distortion*)
3. Cacat permukaan (*disintegration*)
4. Pengausan (*polished aggregate*)
5. Kegemukan (*bleeding or flashing*)
6. Penurunan pada bekas penanaman utilitas

Jenis-jenis kerusakan di atas disebabkan oleh beberapa faktor yang diantaranya adalah beban lalu lintas, air, material konstruksi, iklim, kondisi tanah dasar yang tidak stabil dan proses pemadatan lapisan di atas tanah dasar yang kurang baik. Beban kendaraan pada lapis-lapis perkerasan menyebabkan tegangan dan regangan yang besarnya tergantung pada kekakuan dan tebal lapisan. Pengulangan beban mengakibatkan terjadinya retak leleh pada lapis beraspal serta deformasi pada lapisan beraspal. Cuaca dapat mengakibatkan lapis beraspal menjadi rapuh (*brittle*) sehingga makin rentan terhadap terjadinya retak dan disintegrasi/pelepasan. Bila sudah mulai terjadi, luas dan keparahan retak akan berkembang cepat sehingga terjadi gumpal dan akhirnya terjadi lubang.

Di dalam manual *Pavement Condition Index* (PCI) telah disertakan jenis-jenis kerusakan perkerasan lentur berikut definisi, tingkat kerusakan, cara penilaian dan tindakan perbaikannya. Adapun jenis-jenis kerusakan perkerasan jalan berdasarkan manual PCI adalah sebagai berikut:

1. *Alligator cracking* (Retak kulit buaya)
2. *Bleeding*
3. *Block Cracking* (Retak Blok)
4. *Bumps and Sags* (Melendut Setempat)
5. *Corrugation* (Keriting)
6. *Depression* (Depresi)
7. *Edge Cracking* (Retak Tepi)
8. *Joint Reflection Cracking* (Retak Sambungan Perkerasan)
9. *Lane/shoulder drop off* (Perbedaan Elevasi Bahu Jalan)
10. *Longitudinal and Transverse Cracking* (Retak Memanjang Dan Melintang)
11. *Patching and Utility Cut Patching* (Tambalan Dan Penanaman Utilitas)
12. *Polished Aggregate* (Agregat Terkikis)
13. *Potholes* (Lubang)
14. *Railroad Crossing* (Perlintasan Kereta Api)
15. *Rutting* (Alur)
16. *Shoving* (Sungkur)
17. *Slippage Cracking* (Keretakan Licin)
18. *Swell* (Gelombang)
19. *Weathering and Raveling* (Pelapukan Dan Pelepasan Agregat)

Dalam melakukan pemeliharaan perlu dilakukan suatu monitoring tentang kondisi suatu perkerasan (Murwono, 1997). Monitoring dilakukan untuk mengetahui:

1. Kondisi nilai struktural dan fungsional,
2. Perkembangan kerusakan (*density* dan besaran).
3. Perkembangan kondisi pemeliharaan yang telah dilakukan.

Evaluasi kondisi perkerasan dilakukan untuk dua tujuan, yaitu mengidentifikasi kebutuhan perawatan dan perbaikan untuk memonitor kesehatan jaringan perkerasan (Hein *et al.*, 2005).

### 3 Metodologi Penelitian

Survey yang dilakukan di lapangan yaitu dengan mengukur geometrik jalan (panjang dan lebar jalan), jenis kerusakan beserta tingkat keparahan kerusakan sesuai prosedur PCI dan ukuran kerusakan setiap jenis kerusakannya yang kemudian dimasukkan ke dalam formulir PCI yang sudah disediakan. Adapun Peralatan yang digunakan dalam melaksanakan survey metode PCI ini adalah sebagai berikut:

1. Alat ukur/meteran (roll meter) : untuk mengukur panjang dan lebar jalan, luas kerusakan jalan.
2. Mistar ukur : untuk mengukur kedalaman kerusakan
3. Formulir Survey PCI : untuk mencatat data kerusakan jalan

Setelah didapat data kerusakan di lapangan, kemudian dilakukan analisis data menggunakan metode PCI.

#### 4. Analisa Dan Pembahasan

##### 4.1 Gambaran Umum

Dari survey yang dilakukan di lapangan, kami mendapatkan gambaran umum dari kondisi perkerasan, kondisi geometrik eksisting, karakteristik kendaraan yang melewati ruas jalan, dan jenis - jenis kerusakan yang sering terjadi di lapangan. Kelas jalannya adalah III B (Panjang minimum kendaraan adalah 12 m, lebar minimum kendaraan adalah 2,5 m dan beban maksimal 8 ton) dan fungsi jalannya adalah kolektor primer sedangkan statusnya adalah jalan kota.

##### 4.2 Pengukuran Jenis Kerusakan





Penelitian dimulai dari Sta 0+000 yaitu Hotel Nalendra dan diakhiri pada Sta 2+529 yaitu pertemuan jalan pajajaran dengan jalan Cicendo. Total panjang keseluruhan jalan Cihampelas adalah 2,529 km dengan lebar jalan yang berbeda - beda pada setiap titik pembagian. Adapun data geometrik jalan Cihampelas hasil pengukuran di lapangan, ditampilkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 1 Data Geometrik Jalan Cihampelas

Ruas Jalan	Panjang	Lebar (m)	
	(m)	Min	Max
Cihampelas	2.529	6,1	15,4

Dari hasil penelitian, secara keseluruhan kondisi perkerasan di jalan Cihampelas cukup baik, hanya ada beberapa kerusakan yang perlu diutamakan untuk segera diperbaiki dengan jenis kerusakan yang paling banyak yaitu kerusakan *Weathering/Ravelling* dan kerusakan *Polished Aggregate*. Adapun beberapa jenis kerusakan yang ada di Jalan Cihampelas Bandung ditampilkan pada Tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 2 Jenis Kerusakan di Jalan Cihampelas Bandung

No.	Kode / Nama Kerusakan	No.	Kode / Nama Kerusakan
1	1 / <i>Alligator crack</i>	7	7 / <i>Patching &amp; Util Cut Patching</i>
			
2	2 / <i>Bleeding</i>	8	8 / <i>Polished Aggregate</i>
			

3 / *Block Cracking*4 / *Depression*5 / *Edge Cracking*6 / *Lane/Shoulder Drop Off*9 / *Potholes*10 / *Rutting*11 / *Weathering/Ravelling*

Untuk pengukuran kerusakan dengan metode PCI pada penelitian ini, pembagian jalan dilakukan menjadi 50 titik pengukuran dengan panjang masing - masing unit sampel adalah 50 m. Metode yang digunakan adalah pengambilan kondisi kerusakan di ruas jalan yang mengalami kerusakan yang dikategorikan rusak parah dari mayoritas unit sampel lain sepanjang ruas jalan yang ditinjau. Ruas jalan yang mengalami kerusakan yang parah dari keseluruhan jalan Cihampelas yaitu berada pada Sta 0+650 - 0+750 dengan kategori rusak sedang (*fair*).

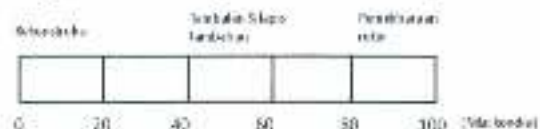
Tabel 3 Nilai PCI Untuk Ruas Jl. Cihampelas Bandung

Unit	Luas (m <sup>2</sup> )	Nilai PCI	Rating	Unit	Luas (m <sup>2</sup> )	Nilai PCI	Rating
1	425	73	verygood	26	335	74	verygood
2	425	89	excellent	27	335	80	verygood
3	425	78	verygood	28	400	98	excellent
4	425	98	excellent	29	315	70	good
5	425	94	excellent	30	325	93	excellent
6	425	84	verygood	31	325	98	excellent

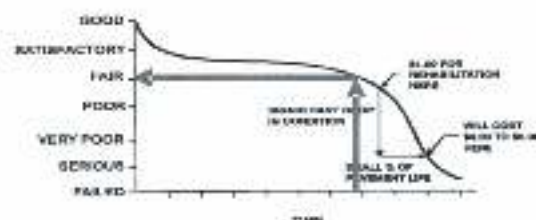
7	400	96	excellent	32	325	96	excellent
8	400	64	good	33	305	90	excellent
9	430	84	verygood	34	330	100	excellent
10	430	76	verygood	35	535	92	excellent
11	430	76	verygood	36	535	97	excellent
12	420	75	verygood	37	685	93	excellent
13	410	90	excellent	38	770	82	verygood
14	450	42	fair	39	495	92	excellent
15	450	46	fair	40	495	94	excellent
16	400	73	verygood	41	345	87	excellent
17	395	77	verygood	42	440	99	excellent
18	395	85	verygood	43	450	93	excellent
19	395	90	excellent	44	465	97	excellent
20	305	94	excellent	45	525	93	excellent
21	305	99	excellent	46	525	92	excellent
22	305	77	verygood	47	525	87	excellent
23	305	80	verygood	48	700	88	excellent
24	325	55	fair	49	670	89	excellent
25	335	92	excellent	50	690	93	excellent

Dari Tabel 4.3, menunjukkan bahwa nilai PCI terbesar didapat pada unit sampel 34 yaitu 100 dengan tingkat kualitas perkerasan adalah *excellent*, sedangkan nilai PCI terkecil diperoleh pada unit sampel 14 yaitu 42 dengan tingkat kualitas perkerasan adalah *fair*.

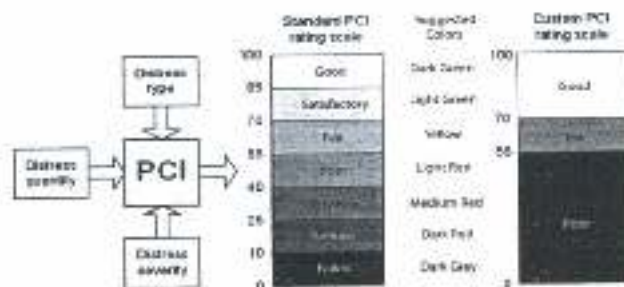
Berdasarkan nilai PCI yang diperoleh, maka prioritas utama yang akan diperbaiki di jalan Cihampelas yaitu unit sampel yang memiliki nilai PCI kondisi perkerasan terkecil dengan rating *fair* yaitu unit sampel 14, 15 dan 25. Kondisi itu menunjukkan bahwa nilai kondisi 42 atau kondisi *fair*, harus segera dilakukan pemeliharaan dan perbaikan.



Gambar 4.1 Nilai Kondisi Sebagai Indikator Tipe Pemeliharaan Unit Sampel 14



Gambar 4.2. Kondisi Perkerasan Selama Umur Rencana Unit Sampel 14



Sumber : Shaha (2005)

Gambar 4.3. *Pavement Condition (PCI) Rating Scale*

Dari Gambar 4.1, 4.2 dan 4.3 dapat disimpulkan bahwa jalan atau unit yang mempunyai Nilai PCI 70 ke bawah, harus segera dilakukan perbaikan dan pemeliharaan. Mengacu kepada penjelasan sebelumnya, maka yang menjadi prioritas utama perbaikan pada ruas Jalan Cihampelas untuk saat ini adalah unit sampel 14, 15 dan 24, karena unit sampel tersebut mempunyai nilai PCI dibawah 70 yaitu 42, 46 dan 55 yang masuk kategori kondisi perkerasan *Fair*.

Tabel 4 Persentase kerusakan Jalan Cihampelas Bandung

No	Jenis kerusakan	Luas Kerusakan (m <sup>2</sup> )	Density (%)
1	Alligator Cracking	9,939	0,0459
2	Bleeding	113,65	0,5246
3	Block Cracking	0,648	0,0030
4	Bump and Sags	5	0,0231
5	Corrugation	0	0,0000
6	Depression	4	0,0185
7	Edge cracking	405,8	1,8731
8	It Reflection Cracking	0	0,0000
9	Lane/Shoulder Drop Off	25	0,1154
10	Long & Trans Cracking	6,5	0,0300
11	Patching & Util Cut Patching	77,383	0,3572
12	<b>Polished Aggregate</b>	<b>1616,8</b>	<b>7,4627</b>
13	Potholes	50	0,2308
14	Rail Crossing	0	0,0000
15	Rutting	5,4	0,0249
16	Shoving	0	0,0000
17	Slippage Cracking	1,96	0,0090
18	Swell	0,0896	0,0004
19	<b>Weathering/ Ravelling</b>	<b>2476,78</b>	<b>11,3217</b>

Dari Tabel 4.4, dapat dilihat bahwa jenis kerusakan dominan yang terdapat pada ruas jalan Cihampelas Bandung adalah *Weathering/Ravelling* = 11,3217 % dan *Polished Aggregate* = 7,4627%.

Adapun alternatif perbaikan berdasarkan jenis kerusakannya yang terjadi pada masing-masing unit sampel dapat dilihat pada Tabel 4.4 dibawah ini :

**Tabel 4.5 Jenis Kerusakan Pada Setiap Unit Sampel Ruas Jalan Cihampelas-Bandung**

No	Jenis Kerusakan	Luas Kerusakan	No. Pili Sampel	Unit Perbaikan
1	Alligat Cracking	L	4,7,11,12,13,14,15,16,18,20,38	Perbaikan retak
		M	2	Perbaikan retak, penambatan isolasi
2	Alligat	L	5,25,26,32,33,35,36,42,43,45,47	Bahan perbaiki direbaiki
		M	3	Perbaikan retak
3	Alligat Cracking	L	31	Perbaikan retak
		M	3	Perbaikan retak
4	Alligat and Spall	L	32,39	Bahan perbaiki direbaiki
		M	1,2,29,40	Perbaikan permukaan
5	Alligat and Spall	L	6,17,18,19,22,30,35,37,38,39,41	Bahan perbaiki direbaiki, Perbaikan retak area retakan > 1cm
		M	3,15	Perbaikan retak
6	Alligat and Spall	L	4	Perbaikan permukaan
		M	9	Perbaikan permukaan dan bahan
7	Alligat and Spall Cracking	L	2,18	Bahan perbaiki direbaiki, Perbaikan retak
		M	4,11,14	Dibongkar dan perambatan permukaan
8	Alligat and Spall Cracking	L	1,5,6,12,14,17,18,19,24,25,27,30,40,41,44,20	Bahan perbaiki direbaiki
		M	4,11,14	Dibongkar dan perambatan permukaan
9	Polished Aggregate	L	1,5,6,10,11,14,22,24,25,28,29,30,32,34,35,37,38,40,42,43,44,45,46,47	Perbaikan permukaan
		M	4	Lapisi tambahan
10	Polished	L	7,8,9,10,11,12,14,15,18,20,21,22,23,24,25,26,29,33,36,38,40,44,45	Bahan perbaiki direbaiki, penambatan panel
		M	8,16,17,23,38,43,48	Perbaikan awal
11	Alligat	L	28,35	Bahan perbaiki direbaiki
		M	5,30,31	Bahan perbaiki direbaiki
12	Alligat	L	17,8,12,13,20,22,27,28,30,36,37,38,41,42,43,44,46	Perbaikan permukaan
		M	17,40,45,50	Perbaikan permukaan

## 5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian kerusakan ruas jalan Cihampelas Bandung dengan metode Pavement Condition Index (PCI) didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan analisis data hitungan PCI, secara umum, kualitas perkerasan jalan Cihampelas masih dikategorikan *very good*, hanya ada beberapa unit sampel yang termasuk kategori rusak sedang (*fair*) yaitu unit sampel 14, 15 dan 24.
2. Berdasarkan nilai PCI yang diperoleh, maka perbaikan ruas Jalan Cihampelas akan diprioritaskan pada unit sampel 14 dengan nilai PCI yaitu 42, unit sampel 15 dengan nilai PCI 46 dan unit sampel 24 dengan nilai PCI 55 karena dikhawatirkan akan mengalami kerusakan yang lebih parah atau kondisi *very poor*.
3. Kerusakan yang paling banyak ditemui di ruas jalan Cihampelas yaitu *Weathering/Ravelling* = 11,3217% dan *Polished Aggregate* = 7,4627%. Hal ini diakibatkan karena kondisi drainase di sepanjang jalan Cihampelas-Bandung kurang baik.
4. Alternatif perbaikan yang dapat dilakukan terutama untuk jenis kerusakan *Weathering/Ravelling* dan *Polished Agregat* yaitu dengan melakukan pelapisan ulang (*overlay*) tipis.

## Daftar Pustaka

- Bellinger W.Y., Miller J.S., 2003, *Distress Identification Manual for The Longterm Pavement Performance Program*, Federal Highway Administration (FHWA), Washington DC.
- Departments of The Army, 1982, *Pavement Maintenance Management*, U.S. Army TM 5-623, USA.
- Desutama, RBP., 2008, *Mata Kuliah Teknik Lalu Lintas*, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung. Tidak dipublikasikan.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 1983, Manual Pemeliharaan Jalan No. 003/MN/B/1983, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- Geoplan Consultan Inc., 2002, *Pavement Surface Condition Rating Manual 2nd edition*, British Columbia Ministry of Transportation.
- Hardiyatmo, H.C. 2007. *Pemeliharaan Jalan Raya*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Pemerintah Republik Indonesia, 2004. Undang-Undang No. 38 Tahun 2004 Tentang Jalan, Jakarta.
- Puslitbang Jalan dan Jembatan, 2005, *Jurnal Litbang Jalan Volume 22 No. 1, Edisi II, Teknik Evaluasi Kinerja Perkerasan Lentur*, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung
- Shahin, M., 2005, *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots* New York: Springer Science+Business Media, I.L.C.
- Sukirman, S., 1999, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova, Bandung
- Walker, D., 2004, *Airfield Pavement Surface Evaluation and Rating Manuals*, Federal Aviation Administration (FAA), USA



## JURNAL TEKNIK PETUNJUK UNTUK PENULIS

**Umum.** Jurnal Teknik menerima artikel yang orisinal dari berbagai penelitian yang berhubungan dengan ilmu teknik metalurgi 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 A<sub>4</sub> (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/leks 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 Juwita<sup>1</sup> & Mahe Siahaan<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Metalurgi  
Fakultas Teknik – Universitas Jenderal Achmad Yani  
<sup>2</sup>LAPAN - 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