



E-ISSN 2541-1233  
P-ISSN 1410-3680  
585/Akred/P2MI-LIPI/09/2014

*Majalah Ilmiah*  
**Pengkajian Industri**

Volume 10 Nomor 3 : Desember 2016

Topik  
Industri Teknologi Hankam dan Material



Diterbitkan oleh :  
**Deputi Teknologi Industri Rancang Bangun & Rekayasa**  
**Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi**  
**Jakarta**



MPI	Vol. 10	No. 3	Hal. 149 - 218	Jakarta, Desember 2016	E-ISSN 2541-1233 P-ISSN 1410-3680
-----	---------	-------	----------------	------------------------	--------------------------------------



LEMBAGA  
ILMU PENGETAHUAN  
INDONESIA

P2  
MI  
Panitia  
Penilai  
Majalah  
Ilmiah



## SERTIFIKAT

Nomor: 585/Akred/P2MI-LIPI/09/2014

### Akreditasi Majalah Ilmiah

Kutipan Keputusan Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Nomor 1014/E/2014 Tanggal 26 September 2014

Nama Majalah : Majalah Ilmiah Pengkajian Industri  
ISSN : 1410-3680  
Redaksi : Deputi Bidang Teknologi Industri Rancang Bangun dan Rekayasa,  
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT),  
Gedung Teknologi II (251), Lantai 3, PUSPITEK Serpong,  
Tangerang Selatan 15314

Ditetapkan sebagai Majalah Ilmiah

## TERAKREDITASI

Akreditasi sebagaimana tersebut di atas berlaku selama 3 (tiga) tahun

Cibinong, 26 September 2014  
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Ketua Panitia Penilai Majalah Ilmiah-LIPI

Prof. Dr. Rochadi,  
NIP 195007281978031001

E-ISSN 2541-1233  
P-ISSN 1410-3680  
585/Akred/P2MI-LIPI/09/2014



E-ISSN 2541-1233  
P-ISSN 1410-3680  
585/Akred/P2MI-LIP/09/2014

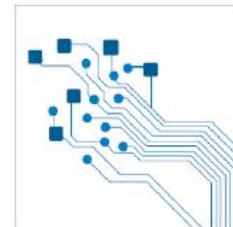
*Majalah Ilmiah*  
***Pengkajian Industri***

---

Volume 10 Nomor 3 : Desember 2016

Topik  
Industri Teknologi Hankam dan Material

Diterbitkan oleh :  
**Deputi Teknologi Industri Rancang Bangun & Rekayasa**  
**Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi**  
**Jakarta**



MPI	Vol. 10	No. 3	Hal. 149 - 218	Jakarta, Desember 2016	E-ISSN 2541-1233 P-ISSN 1410-3680
-----	---------	-------	----------------	------------------------	--------------------------------------

## Majalah Ilmiah Pengkajian Industri

---

Volume 10 Nomor 3 : Desember 2016

Majalah Ilmiah Pengkajian Industri adalah wadah informasi bidang Pengkajian Industri berupa hasil penelitian, studi kepustakaan maupun tulisan ilmiah terkait dalam bidang industri. Terbit pertama kali pada tahun 1996 frekuensi terbit tiga kali setahun bulan April, Agustus dan Desember

### Ketua Dewan Redaksi :

Dr. Ir. Rizqon Fajar, M.Sc (Tek. Bahan Bakar dan Pembakaran) (PTSPT)

### Anggota :

Ir. Eko Syamsudin, M. Eng. (Teknik Mesin, Bid. Industri Hankam),(PTIPK)  
Ahmad Zaki, ST. MT. (Teknik Produksi, Bid. Industri Permesinan) (MEPPO)  
Dr. Dipl.-Ing. Mulyadi Sinung, MT (Teknik Elektro, Bid. Sarana Transportasi) (PTSPT)  
Dr. Fariduzzaman, MSc., MT., APU (Teknik Aerodinamika, Bid. Industrial Aerodynamics) (B2TA3)  
Dr. Cuk Supriyadi Ali N., MEng., (Tek. Elektro, Bid. Sis. Stabilitas Ketenagaan dan Kendali) (PTIP)  
Dr. Widjo Kongko, M.Eng. (Teknik Rekayasa Pantai, Bid. Industri Transportasi) (BTIDP)  
Ir. Soegeng Harjono, M.Sc (Teknik Perkapalan, Bid. Sistem Transportasi) (PTRIM)  
Dr. Hari Setiaprada (Teknik Mesin, Bid. Industri Otomotif) (BTMP)  
Eka Febrianti, ST. MT. (Teknik Material, Bid. Industri) (B2TKS)  
Ir. Arifin, M.Eng., (Teknologi Proses) (BTH)

### MITRA BESTARI :

Dr. Ing.Ir., H. Agus Suhartono Bidang Material BPPT  
Dr. Ir. I Nyoman Jujur, M.Eng. Bidang Teknik Mesin BPPT  
Dr. Ir. Myrna Ariati, MS Bidang Metalurgi dan Material, FT-UI  
Prof. Ir. Wimpie Agoeng N. Aspar, MSCE., Ph.D. Bidang Teknik Sipil BPPT  
Prof. Dr.Ir. Sulistijono, DEA Bidang Teknik Desain Material FTI-ITS  
Dr. Maizirwan Mel, MSc. Bidang Bio Process Engineering IIUM Gombak-Kuala Lumpur

---

### Alamat Redaksi/Penerbit :

Deputi Bidang Teknologi Industri Rancang Bangun dan Rekayasa  
Gedung Teknologi II (251) Lantai 3, PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan (15314)  
Telepon : (021)75875944, ext. 1112, Fax.(021)75875938  
E-mail : majalah\_mpi@yahoo.com

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dan penghargaan disampaikan kepada para pakar yang telah diundang sebagai Mitra Bestari/Penelaah oleh Majalah Pengkajian Industri dalam Volume 10, No. 3, Tahun 2016. Berikut ini daftar nama pakar yang berpartisipasi :

<b>Nama</b>	<b>Alamat / Instansi</b>
Derajat, Drs. (Bid. Flight Test Engineering)	Gedung Flight Test Center, PT.Dirgantara Indonesia Jl.Pajajaran No. 154 Bandung
Sulistijono, Prof.Dr.Ir. DEA. (Bid. Teknik Material Desain)	Rektor Institut Teknologi Kaltim
Jamasri, Prof. Ir., Ph.D. (Bid. Teknik Material)	Guru Besar pada Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada. Kampus UGM , jl.Grafika No.2, Bulak Sumur Yogyakarta
I Nyoman Jujur, Dr., M.Eng., Ir. (Bid. Teknik Mesin)	Pusat Teknologi Material, BPPT, Ged.2 BPPT Lt.22 , Jl.M.H.Thamrin No 8, Jakarta 10340
Myrna Ariati, MS., Dr.Ir. (Bid. Metalurgi dan Material)	Departemen Metalurgi dan Material, FTUI,Kampus Baru UI Depok.

### **SUSUNAN REDAKTUR PELAKSANA**

Ketua Pelaksana	: Ir. Endro Wahyu Tjahjono
Wakil Ketua	: Iwan Setiadi,MT
Sekretaris 1	: Dyah Kusuma Dewi, MT
Sekretaris 2	: Ihwan Haryono, Msi.
Bendahara	: Era Restu Finalis,ST
Kopi Editor 1	: Dr. Eko Syamsuddin H.,M.Eng
Kopi Editor 2	: Ir. Soegeng Hardjono,MSc.
Seksi Percetakan 1	: Drs. Agus Krisnowo,MT
Seksi Percetakan 2	: Eka Febriyanti,ST
Seksi Distribusi 1	: Ir. Sayuti Syamsuar,MT
Seksi Distribusi 2	: Siti Yubaidah,MT
Seksi Korespondensi 1	: Linda Nuryanti,Skom
Seksi Korespondensi 2	: Mohammad Ivan,ST

## Kata Pengantar

Industri Teknologi Hankam dan Material merupakan dua kelompok besar industri yang berbasis teknologi yaitu industri Teknologi Hankam dan Industri material logam dan industri material non logam yang meliputi semua komponen yang terkait dengan pertahanan dan keamanan baik materialnya maupun komponen lainnya seperti keramik, polimer, dan komposit. Teknologi pada industri Hankam dan material selama ini terus dikembangkan melalui berbagai kegiatan penelitian dan perekayasaan. Banyak penelitian, kajian dan perekayasaan yang dilakukan oleh berbagai pihak, baik berupa lembaga maupun perorangan yang bertujuan untuk memperluas dan meningkatkan kemampuan material untuk dapat diaplikasikan dalam berbagai keperluan.

Terbitan Majalah Ilmiah Pengkajian Industri volume. 10 No. 3 Desember 2016 kali ini, ditampilkan publikasi beberapa penelitian, kajian dan perekayasaan bidang hankam diantaranya tentang Desain Karakteristik Kapal Markas untuk Operasi Pengamanan Perairan Perbatasan dan Dukungan Penanganan Pasca Bencana Alam pada Masyarakat Pulau Terluar; Optimasi Desain Evaporator dan Kondenser untuk Sistem Pendingin Kabin Kendaraan dan Penentuan Temperatur Operasional "Rod Hanger Tube Heater" Agar Mencapai Umur Operasi Desain

Pada terbitan ini juga ditampilkan topik terkait beberapa pengembangan dan analisis permasalahan pada industri material, seperti Potensi Pembentukan Kerak pada Instalasi Desalinasi Nuklir Med dengan Air Umpan dari Teluk Manggris; Efek Penambahan Cu terhadap Sifat Listrik Komposit Multi Walled Carbon Nanotubes-Copper-Polyvinyl Alcohol (MWCNT-Cu-PVA); Pengaruh Peningkatan % Reduksi terhadap Penghalusan Butir dan Sifat Mekanik Paduan Cu-Zn 70/30 setelah Deformasi pada Suhu 400°C; Proses Pembuatan dan Pengujian Benda Uji Keramik untuk Bahan Baku Isolator Listrik Keramik Porselen; Fenomena Terjadinya Kerusakan pada Material Batang Piston; Pengaruh Proses Hot Rolling dan Kandungan Cerium pada Daya Hantar Listrik Paduan AlZrCe sebagai Matrik Komposit Berpenguat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Redaksi selalu berusaha melakukan perbaikan-perbaikan dalam rangka meningkatkan mutu Majalah Ilmiah Pengkajian Industri. Selanjutnya Redaksi berencana menerbitkan Vol. 11 No.1, bulan April 2017 dengan Topik "Indutri Proses, Rekayasa dan Manufaktur".Redaksi sangat menghargai kritik dan saran yang membangun.

Redaksi

### Majalah Pengkajian Industri

- Potensi Pembentukan Kerak pada Instalasi Desalinasi Nuklir Med dengan Air Umpan dari Teluk Manggris  
*Potential of Scale Formation in Med Nuclear Desalination Plant with Feed Water of Manggris Gulf* (Siti Alimah, Djati H. Salimy) 149 - 156
- Efek Penambahan Cu terhadap Sifat Listrik Komposit Multi Walled Carbon Nanotubes-Copper-Polyvinyl Alcohol ( MWCNT-Cu-PVA )  
*Effect Of The Increasement Of Cu On The Electrical Properties Of MWCNT-Cu-PVA Composite* (P. Purwanto, Muflikah) 157 – 162
- Pengaruh Peningkatan % Reduksi terhadap Penghalusan Butir dan Sifat Mekanik Paduan Cu-Zn 70/30 setelah Deformasi pada Suhu 400°C.  
*The Effect Of % Reduction Enhancement To Grain Refinement And Mechanical Properties Of Cu-Zn 70/30 Alloy After Deformation At 400°C* (Eka Febriyanti, Amin Suhadi, Dedi Priadia, Rini Riastuti) 163 – 172
- Proses Pembuatan dan Pengujian Benda Uji Keramik untuk Bahan Baku Isolator Listrik Keramik Porselen  
*Manufacturing And Testing Process Of Ceramic Specimens For Raw Materials Of Electrical Isolator Porcelain Ceramic* (Wahyu Garinas) 173 – 180
- Fenomena Terjadinya Kerusakan pada Material Batang Piston  
*The Phenomenon Of Damage To The Piston Rod Material* (M. N. Setia Nusa) 181 – 188
- Pengaruh Proses Hot Rolling dan Kandungan Cerium pada Daya Hantar Listrik Paduan AlZrCe sebagai Matrik Komposit Berpenguat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,  
*Effect of Hot Rolling Process and Cerium Content on Electrical Conductivity of AlZrCe Alloy as Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Reinforcement Matrix Composite* (Iwan Setyadi) 189 – 194
- Optimasi Desain Evaporator dan Kondenser untuk Sistem Pendingin Kabin Kendaraan  
*Optimized Design Of Evaporator And Condenser For Cooling System Of Passenger Vehicle Cabin* (IGA Uttariyani) 195 – 200
- Desain Karakteristik Kapal Markas untuk Operasi Pengamanan Perairan Perbatasan dan Dukungan Penanganan Pasca Bencana Alam pada Masyarakat Pulau Terluar.  
*Design Characteristics of Markas Vessel for Securing the Border Water and Emergency Support for Post Natural Disaster for the Community on the Outer Most Island* (Samudro, Abdul Kadir) 201 – 210
- Penentuan Temperatur Operasional “Rod Hanger Tube Heater” Agar Mencapai Umur Operasi Desain  
*Determination The Operating Temperature "Hanger Rod Of Heater Tube" In Order To Achieve The Life Of Operation Design* (Hadi Sunandrio) 211 – 218



**POTENSI PEMBENTUKAN KERAK PADA INSTALASI  
DESALINASI NUKLIR MED DENGAN AIR UMPAN DARI TELUK  
MANGGRIS**

**POTENTIAL OF SCALE FORMATION IN MED NUCLEAR  
DESALINATION PLANT WITH FEED WATER OF MANGGRIS  
GULF**

Siti Alimah dan Djati H.Salimy

**Abstrak**

Pada tahun 2025 diperkirakan terjadi defisit kebutuhan air bersih penduduk Pulau Bangka, dan jika diasumsi sekitar 30 % air bersih untuk penduduk dan fasilitas PLTN dipasok dari instalasi desalinasi MED (*Multi-Effect Distillation*) dengan energi panas nuklir, maka kapasitas produksi 90.000 m<sup>3</sup>/hari. Salah satu permasalahan dalam instalasi desalinasi thermal adalah pembentukan kerak dalam permukaan perpindahan panas. Pembentukan kerak dalam instalasi desalinasi MED disebabkan oleh deposisi garam inorganik seperti kalsium karbonat, kalsium sulfat dan magnesium hidroksida. Kerak pada permukaan perpindahan panas dapat menurunkan laju perpindahan panas, yang akan berimplikasi pada penurunan kinerja dan efisiensi proses. Tujuan studi adalah menganalisis potensi pembentukan kerak dalam instalasi desalinasi MED, dengan air umpan dari Teluk Manggris. Metode yang digunakan adalah kajian literatur dan analisis berdasar perhitungan. Hasil studi menunjukkan bahwa terdapat potensi timbulnya kerak yang disebabkan oleh CaSO<sub>4</sub> yang diindikasikan dengan positifnya harga indeks pengerakan (SI) sebesar 23,408. Potensi timbulnya kerak CaCO<sub>3</sub> tidak ada, karena diperoleh harga LSI negatif dengan nilai -0,63. Namun air potensial bersifat korosif sehingga pertimbangan dalam pemilihan bahan alat perlu dilakukan. Selain itu juga terdapat potensi terbentuknya kerak Mg(OH)<sub>2</sub>.

**Kata Kunci :** desalinasi nuklir, air bersih, kerak, MED, Teluk Manggris.

**EFEK PENAMBAHAN Cu TERHADAP SIFAT LISTRIK  
KOMPOSIT *MULTI WALLED CARBON NANOTUBES-CUPPER-  
POLYVINYL ALCOHOL (MWCNT-Cu-PVA)***

**EFFECT OF Cu ADDED TO ELECTRICITY PROPERTIES *MULTI  
WALLED CARBON NANOTUBES-CUPPER-POLYVINYL  
ALCOHOL COMPOSITE (MWCNT-Cu-PVA)***

P. Purwanto dan Muflikah

**Abstrak**

Komposit MWCNT-Cu-PVA dibuat dengan mencampurkan serbuk MWCNT dan serbuk Cu dengan variasi konsentrasi Cu 1% dan 4% berat. Selanjutnya kedua bahan tersebut diaduk dengan metode metalurgi serbuk selama 1 jam. Hasil pola difraksi sinar-X komposit MWCNT-Cu-PVA menunjukkan adanya puncak CNT dan Cu dengan pola sama. Spektroskopi Raman menunjukkan bahwa D band muncul pada 1310-1320 cm<sup>-1</sup>, puncak harmonik kedua G band muncul pada Raman shift 1605-1615 cm<sup>-1</sup>. Konduktivitas komposit MWCNT-Cu-PVA meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi, namun nilai kapasitasnya semakin menurun. Titik puncak kurva cole-cole plot pada komposit MWCNT-Cu-PVA, yang merupakan perbedaan titik dimana suatu bahan bekerja secara efektif pada frekuensi tertentu.

**Kata Kunci :** Karbon nanotube, Difraksi Sinar-X, Spektroskopi Raman, Konduktivitas

**PENGARUH PENINGKATAN % REDUKSI THD STRUKTUR  
MIKRO DAN SIFAT MEKANIK PADUAN KUNINGAN Cu-Zn 70/30  
SETELAH PROSES *WARM ROLLING* PADA SUHU 400°C**

**THE EFFECT OF % REDUCTION ENHANCEMENT TO  
MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF Cu-  
Zn BRASS 70/30 ALLOY WARM ROLLING AT 400 °C**

Eka Febriyanti<sup>b</sup>, Amin Suhadi<sup>b</sup>, Dedi Priadi<sup>a</sup>, Rini Riastuti<sup>a</sup>

**Abstrak**

Paduan Cu-Zn 70/30 banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena memiliki sifat yang unggul dan belum ada penggantinya. Untuk memperoleh paduan Cu-Zn 70/30 dengan sifat mekanik yang lebih baik maka dilakukan riset baik modifikasi dari jenis material yang sudah ada ataupun material baru agar sesuai dengan kebutuhan industri. Untuk mengurangi biaya produksi, namun tetap menghasilkan sifat mekanik yang baik tanpa penambahan paduan maka dikembangkan metode penghalusan butir. Salah satu alternatif proses fabrikasi untuk mengoptimalkan sifat mekanik paduan Cu-Zn 70/30 yaitu dengan metode *warm rolling*. *Warm rolling* yang dilakukan pada pelat paduan Cu-Zn 70/30 menggunakan % reduksi dari 29,03%, 34,4%, dan 38,16% pada suhu 400°C secara *double pass reversible*. Hasil metalografi didapat ukuran butir yang semakin menurun sebesar 30,03 µm di bagian tepi dan 33,45 µm di bagian tengah pada % reduksi 38,16%. Hasil uji tarik dengan % reduksi 38,16% menghasilkan nilai *ultimate tensile strength* (UTS) sebesar 478 MPa, *yield strength* (YS) sebesar 434 MPa, dan persentase elongasi sebesar 9%. Untuk hasil uji kekerasan menghasilkan nilai kekerasan sebesar 135,8 HV di bagian tepi dan 128,4 HV di bagian tengah pada % reduksi 38,16%.

**Kata Kunci** : Paduan Cu-Zn 70/30, butir halus, sifat mekanis, *warm roll*

**PROSES PEMBUATAN DAN PENGUJIAN BENDA UJI KERAMIK  
UNTUK BAHAN BAKU ISOLATOR LISTRIK KERAMIK  
PORSELEN**

**MANUFACTURING AND TESTING PROCESS OF CERAMIC  
SPECIMENS FOR RAW MATERIALS OF ELECTRICAL  
ISOLATOR PORCELAIN CERAMIC**

Wahyu Garinas

**Abstrak**

Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan mencari bahan baku untuk pembuatan isolator keramik porselen. Bahan baku untuk pembuatan benda uji keramik sebagian besar menggunakan bahan baku lokal. Proses pengolahan bahan baku pada penelitian ini : pembuatan komposisi, pengolahan bahan dan pembuatan benda uji. Metode yang akan dilakukan dalam pengolahan ini yaitu proses pemisahan dengan cara basah dan kering. Untuk mengetahui kualitas kelistrikan dari bahan baku keramik maka dibuat benda uji dan dilakukan uji tegangan tembus listrik. Hasil uji terhadap benda uji ternyata semua benda uji masih belum memenuhi standar IEC maupun ASTM. Nilai hasil uji terhadap sampel sekitar (7,99 - 9,35) kV/mm dan semua sampel belum memenuhi standar yang direkomendasikan oleh PLN (9,85 kV/mm). Hasil uji tersebut menunjukkan bahwa sampel no. 5 dan 6 yang mendekati standar dari PLN. Perlu evaluasi terhadap komposisi, bahan dan proses pembuatan dari benda uji keramik.

**Kata Kunci** : Bahan mentah keramik (kaolin, felspar, ball clay, kuarsa), pengujian benda uji, pengujian tegangan tembus, kualitas bahan keramik.

## FENOMENA TERJADINYA KERUSAKAN PADA MATERIAL BATANG PISTON

### THE PHENOMENON OF DAMAGE TO THE PISTON ROD MATERIAL

M. N. Setia Nusa

#### Abstrak

Terjadi kerusakan dan pecah pada area *bushing* dan patah pada batang *connecting rod*. Dilakukan penelitian untuk mengetahui penyebab kerusakan tersebut dengan metode *fractography*, *metalography*, uji kekerasan dan uji komposisi kimia dan secara visual. Ditemukan indikasi kerusakan berawal pada daerah *bushing* dengan awal retak (*initial crack*) dan penjalaran retak (*crack propagation*) juga beberapa retak rambut, ini bentuk patah fatik dan menyebabkan patah pada batang *connecting rod* dengan ciri patah ulet (*ductile fracture*). Patah fatik akibat dari benturan halus yang berlangsung beberapa lama akibat dari rongga *bushing* yang longgar karena kurangnya pelumasan atau pelumasan yang kurang sempurna.

Kata kunci : Connecting Rod – Pelumasan – Longgar – Retak – Pecah

## PENGARUH PROSES HOT ROLLING DAN KANDUNGAN CERIUM PADA DAYA HANTAR LISTRIK PADUAN AlZrCe SEBAGAI Matrik KOMPOSIT BERPENGUAT Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### EFFECT OF HOT ROLLING PROCESS AND CERIUM CONTENT ON ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF AlZrCe ALLOY FOR Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> REINFORCEMENT MATRIX COMPOSITE

Iwan Setyadi <sup>a</sup>, Suryadi <sup>a</sup>, Kirman <sup>b</sup>, Mirza Wibisono <sup>a</sup>

#### Abstrak

Sebagai upaya untuk mendapatkan material konduktor listrik, paduan aluminium-Cerium merupakan salah satu alternatif material yang dikembangkan sebagai paduan dasar untuk komposit bermatrik logam. Dalam manufaktur kawat konduktor, proses pengerolan panas merupakan bagian proses yang tidak terpisahkan untuk mereduksi penampang. Adapun fokus penelitian adalah mengamati pengaruh pengerolan panas terhadap paduan AlZrCe, dimana yang divariasikan adalah prosentase reduksi dan kandungan cerium dalam paduan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan prosentasi reduksi pengerolan panas dan kenaikan kandungan Cerium dalam paduan AlZrCe memberikan dampak peningkatan nilai konduktivitas listrik paduan AlZrCe. Hasil optimal yang diperoleh adalah 62,07% IACS, yang didapat dari master paduan AlZrCe dengan kandungan 0,3% Ce dan reduksi sebesar 67,5%. Hasil ini mendekati bahan EC (99,6% Al) yang memiliki konduktivitas listrik 63,4% IACS.

**Kata kunci :** paduan AlZrCe, pengerolan panas, prosentase reduksi, kandungan Cerium, konduktivitas listrik, IACS.



## OPTIMASI DESAIN EVAPORATOR DAN KONDENSER UNTUK SISTEM PENDINGIN KABIN KENDARAAN

### DESIGN OPTIMIZATION OF EVAPORATOR AND CONDENSER FOR COOLING SYSTEM OF PASSENGER VEHICLE CABIN

I G A Uttariyani

#### Abstrak

Pada perancangan kondensor ataupun evaporator, efektifitas pertukaran panas merupakan bagian yang terpenting untuk meningkatkan kinerja dari peralatan penukar kalor. Pada kondensor jenis fin tube salah satu parameter perancangan yang paling penting untuk meningkatkan efektivitas pertukaran panas adalah urutan dan peletakkan tube-tube untuk mengalirkan refrigeran pada tube-tube kondensor. Circuit tube menentukan distribusi refrigeran melalui kondensor yang berdampak pada massa refrigeran, pertukaran panas, penurunan tekanan, dan temperatur pada setiap tube. Paper ini membahas mengenai pembuatan sirkuit refrigerant di dalam peralatan penukar panas, dan mensimulasikan temperature refrigerant, temperature udara maupun fraksi uap pada setiap tube untuk menghasilkan desain yang optimal dengan menggunakan perangkat lunak *EVAP-COND*. Berdasarkan hasil optimasi dari beberapa konfigurasi sirkuit tube refrigeran didapatkan desain evaporator dan kondensor yang paling optimal dengan kapasitas pelepasan panas 26 kW.

**Kata kunci:** Evaporator, Kondensor, Optimasi Desain, Susunan *Tube*

## DESAIN KARAKTERISTIK KAPAL MARKAS UNTUK OPERASI PENGAMANAN PERAIRAN PERBATASAN DAN DUKUNGAN PENANGANAN PASCA BENCANA ALAM PADA MASYARAKAT PULAU TERLUAR

### CHARACTERISTICS DESIGN OF HEADQUARTERS SHIP FOR BORDER PROTECTION OPERATION AND SUPPORT TO POST-NATURAL DISASTER MANAGEMENT IN THE OUTLYING ISLANDS COMMUNITY

Samudro<sup>a</sup> dan Abdul Kadir<sup>b</sup>

#### Abstrak

Ditinjau dari segi kedaulatan dan pertahanan-keamanan nasional, keberadaan pulau-pulau terluar di perairan perbatasan di bagian utara Sulawesi Utara mempunyai arti strategis bagi Indonesia dan layak untuk diamankan. Di sisi lain, wilayah geografis Sulawesi Utara dengan beberapa gunung berapi dan perairan terbuka menghadap ke samudra Pasifik, rawan terjadi bencana alam gempa dan Tsunami. Secara konseptual strategis perlu dikaji kebutuhan sarana dukung transportasi - kapal untuk pengamanan pulau-pulau terluar dan untuk kesiagaan penanganan bencana alam bagi masyarakat wilayah perairan perbatasan. Karenanya pada kajian ini dilakukan studi disain prototip kapal markas yang dilengkapi bulbous-bow untuk mampu beroperasi sesuai karakteristik pada perairan perbatasan bergelombang tinggi, serta berfungsi sebagai sarana dukung operasional patroli pengamanan perairan perbatasan dan penanganan pasca bencana alam. Desain kapal markas panjang 66 m dengan daya 2x155 HP, kecepatan dinas 12,5 Knot telah diuji model di laboratorium hidrodinamika untuk kemampuan ship powering, maneuvering dan sea-keeping dengan hasil memenuhi ketentuan persyaratan IMO.

**Kata Kunci :** *Desain kapal markas, pengamanan perairan perbatasan, bantuan pasca bencana alam, bulbousbow, uji laboratorium hidrodinamika*

**PENENTUAN TEMPERATUR OPERASIONAL “ROD HANGER  
TUBE HEATER” AGAR MENCAPAI UMUR OPERASI DESAIN**

**DETERMINATION THE OPERATING TEMPERATURE  
"HANGER ROD OF HEATER TUBE" IN ORDER TO  
ACHIEVE THE LIFE OF OPERATION DESIGN**

**Hadi Sunandrio**

**Abstrak**

*Rod Hanger Tube Heater* yang sudah beroperasi sekitar  $\pm 7$  bulan akan tetapi belum dilengkapi dengan *best practice* berapa lama *MTBF* (*Mean Time Between Failure*) atau *Life Time* nya. Oleh karena itu dibutuhkan pengujian untuk mengetahui berapa sebenarnya *Life Time* dari *Rod Hanger*, yang nantinya akan menjadi acuan *MTBF* dari *Rod Hanger* tersebut.

Pada tulisan ini akan disajikan suatu hasil pengujian mulur (*creep test*) dari *Rod Hanger*, yang kemudian diekstrapolasi sehingga akan menghasilkan grafik LMP vs tegangan, yang merupakan kombinasi tiga parameter yaitu waktu (*time to rupture*), logaritma tegangan dan suhu operasi menjadi satu kurva yang disebut Kurva Master **Larson-Miller** Parameter (*LMP Master Curve*). Selanjutnya parameter ini dapat digunakan untuk menghitung umur pakai *Rod Hanger* yang dioperasikan pada suhu tinggi, dengan menggunakan persamaan *Larson-Miller Parameter* (*LMP*)

**Kata kunci** : Rod Hanger, Pengujian Mulur, Larson-Miller Parameter, Umur Pakai

## POTENSI PEMBENTUKAN KERAK PADA INSTALASI DESALINASI NUKLIR MED DENGAN AIR UMPAN DARI TELUK MANGGRIS

## POTENTIAL OF SCALE FORMATION IN MED NUCLEAR DESALINATION PLANT WITH FEED WATER OF MANGGRIS GULF

Siti Alimah dan Djati H.Salimy

Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN) - BATAN  
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta, 12710 Telp/ Fax : (021) 5204243  
E-mail : alimahs@batan.go.id, djatihs@batan.go.id

### Abstrak

Pada tahun 2025 diperkirakan terjadi defisit kebutuhan air bersih penduduk Pulau Bangka, dan jika diasumsi sekitar 30 % air bersih untuk penduduk dan fasilitas PLTN dipasok dari instalasi desalinasi MED (*Multi-Effect Distillation*) dengan energi panas nuklir, maka kapasitas produksi 90.000 m<sup>3</sup>/hari. Salah satu permasalahan dalam instalasi desalinasi thermal adalah pembentukan kerak dalam permukaan perpindahan panas. Pembentukan kerak dalam instalasi desalinasi MED disebabkan oleh deposisi garam inorganik seperti kalsium karbonat, kalsium sulfat dan magnesium hidroksida. Kerak pada permukaan perpindahan panas dapat menurunkan laju perpindahan panas, yang akan berimplikasi pada penurunan kinerja dan efisiensi proses. Tujuan studi adalah menganalisis potensi pembentukan kerak dalam instalasi desalinasi MED, dengan air umpan dari Teluk Manggris. Metode yang digunakan adalah kajian literatur dan analisis berdasar perhitungan. Hasil studi menunjukkan bahwa terdapat potensi timbulnya kerak yang disebabkan oleh CaSO<sub>4</sub> yang diindikasikan dengan positifnya harga indeks pengerakan (SI) sebesar 23,408. Potensi timbulnya kerak CaCO<sub>3</sub> tidak ada, karena diperoleh harga LSI negatif dengan nilai -0,63. Namun air potensial bersifat korosif sehingga pertimbangan dalam pemilihan bahan alat perlu dilakukan. Selain itu juga terdapat potensi terbentuknya kerak Mg(OH)<sub>2</sub>.

**Kata Kunci** : desalinasi nuklir, air bersih, kerak, MED, Teluk Manggris.

### Abstract

*At the year of 2025 is estimated suffer a deficit of the need of fresh water in Bangka Island, and if assumed that the need of 30% fresh water of Bangka Island peoples and for supporting NPP's operation, can be supplied by nuclear desalination of MED (Multi-Effect Distillation) process, so the production capacity 90,000 m<sup>3</sup>/day. One of the problems in thermal desalination installation is scale formation in heat transfer surfaces. Scale formation in the MED desalination plant caused by the deposition of inorganic salts such as calcium carbonate, calcium sulfate and magnesium hydroxide. The scale on the surface of the heat transfer can reduce the flow of heat transfer, which will have implications for the decline in the performance and efficiency of the process. The purpose of the study was to analyze the potential of scale formation in the MED desalination plant, that utilize the feed water of Manggris Bay. The method used is literature assessment and analysis based on the calculation. The result study shows that there is potential for scale caused by CaSO<sub>4</sub> which is indicated by positive value (23.408) of scaling index. There is no potential of scale formation caused by CaCO<sub>3</sub>, because resulted the negative value of LSI (-0.63). However water will be potentially corrosive so that it becomes a consideration in equipment material selection. In addition there are also the potential of the scale formation caused by Mg(OH)<sub>2</sub>.*

*Key Words : nuclear desalination, fresh water, scale, MED, Manggris Bay.*

Diterima (received) : 15 Mei 2016, Direvisi (Revised) : 03 Oktober 2016, Disetujui (Accepted) : 27 November 2016

## PENDAHULUAN

Dari studi yang telah dilakukan BATAN, Pulau Bangka di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung (Babel) merupakan salah satu calon tapak potensial PLTN di Indonesia<sup>1</sup>. Guna memenuhi keperluan air pendingin reaktor PLTN, diperlukan air dengan spesifikasi tertentu, diantaranya TDS (total padatan terlarut) sekitar 1 ppm<sup>2</sup>. Sementara itu air laut dari Teluk Manggris di pulau Bangka mempunyai TDS 32804 ppm<sup>3</sup>, sehingga diperlukan proses desalinasi untuk penyediaan air pendingin reaktor. Energi panas untuk proses desalinasi dapat berasal dari PLTN<sup>4</sup>.

Studi terdahulu menunjukkan bahwa Pulau Bangka pada tahun 2025 diperkirakan akan mengalami defisit air bersih sebesar 285.105 m<sup>3</sup>/hari<sup>3</sup>. Untuk memenuhi kebutuhan air bersih sebagai pendukung operasi PLTN 1000 MWe sebesar 2750 m<sup>3</sup>/hari<sup>5</sup>, dan sekaligus menyumbang kebutuhan 30% air bersih untuk kehidupan sehari-hari, maka kapasitas produksi air bersih instalasi desalinasi dengan energi panas nuklir adalah 90.000 m<sup>3</sup>/hari.

Teknologi desalinasi MED (*Multiple-Effect Distillation*) yang beroperasi pada temperatur rendah merupakan proses desalinasi thermal yang paling efisien saat ini dan penggunaan TVC (*Thermal Vapor Compression*) akan meningkatkan kinerja instalasi desalinasi<sup>6,7</sup>. Kualitas air produk desalinasi dengan proses MED dapat mencapai 1,960 ppm<sup>8</sup>. Guna memenuhi kriteria air spesifikasi PLTN, maka air produk proses desalinasi selanjutnya dimurnikan dengan penukar ion, dan untuk pendingin primer kemudian ditambah boron (dalam bentuk asam borat) yang berfungsi untuk menyerap neutron sebagai kendali reaktivitas, lithium hidroksida dan hidrogen untuk pengendalian pH dan penghambat terjadinya korosi<sup>9</sup>.

Dalam instalasi desalinasi MED, pembentukan kerak pada permukaan perpindahan panas merupakan salah satu problem yang dapat mengurangi efektivitas perpindahan panas sehingga menurunkan kinerja instalasi dan efisiensi proses. Kerak didefinisikan sebagai deposit kristalin yang keras, yang terutama terdiri dari garam-garam inorganik, yang menempel pada permukaan perpindahan panas dan

memerlukan metode fisika dan atau kimia untuk menghilangkannya<sup>9</sup>. Oleh karena itu pembentukan kerak pada instalasi desalinasi MED perlu dikaji, sehingga dapat ditentukan jenis penanganan yang tepat untuk kendali kerak tersebut.

Pembentukan kerak dalam instalasi desalinasi MED disebabkan oleh deposisi garam inorganik seperti kalsium karbonat, kalsium sulfat dan magnesium hidroksida pada permukaan penukar panas<sup>10,11</sup>. Pada pembentukan kerak kalsium sulfat, potensi pembentukan kerak dapat diperkirakan dengan menghitung *Scaling Index* (SI). Sedangkan potensi pembentukan kerak kalsium karbonat dapat diindasikan dengan *Langelier Saturation Index* (LSI). Kerak magnesium hidroksida dapat diperkirakan dengan menghitung hasil kali konsentrasi komponen.

Tujuan penulisan makalah ini adalah memperkirakan potensi pembentukan kerak dalam instalasi desalinasi MED, dengan air umpan dari Teluk Manggris, pulau Bangka. Hasil studi diharap dapat memberi masukan bagi pengambil kebijakan, guna menyongsong pembangunan PLTN di Indonesia.

## BAHAN DAN METODE

### Metode

Metode yang digunakan dalam studi adalah kajian literatur dan analisis dengan menghitung *Scaling Index*, *Langelier Saturation Index* dan *hasil kali konsentrasi komponen*. Dalam kajian ini, komponen instalasi desalinasi MED yang akan di bahas adalah evaporator. Dalam proses desalinasi MED, uap mengalir ke dalam pipa-pipa (*tube*) horizontal di dalam tiap tahapan evaporator dan air laut disemprotkan ke sisi luar *tube*. Uap yang mengalir di dalam *tube* akan mengembun, dan melepaskan panas latennya ke lapisan film air laut yang terjadi di dinding sisi luar *tube*, sehingga lapisan film air laut itu sebagian mendidih dan menguap, sedangkan sisanya jatuh ke dasar evaporator dan disebut *brine* (konsentrat garam), seperti terlihat dalam Gambar 1. Kerak dapat terbentuk di luar *tube* sehingga perlu dianalisis potensi pembentukannya.

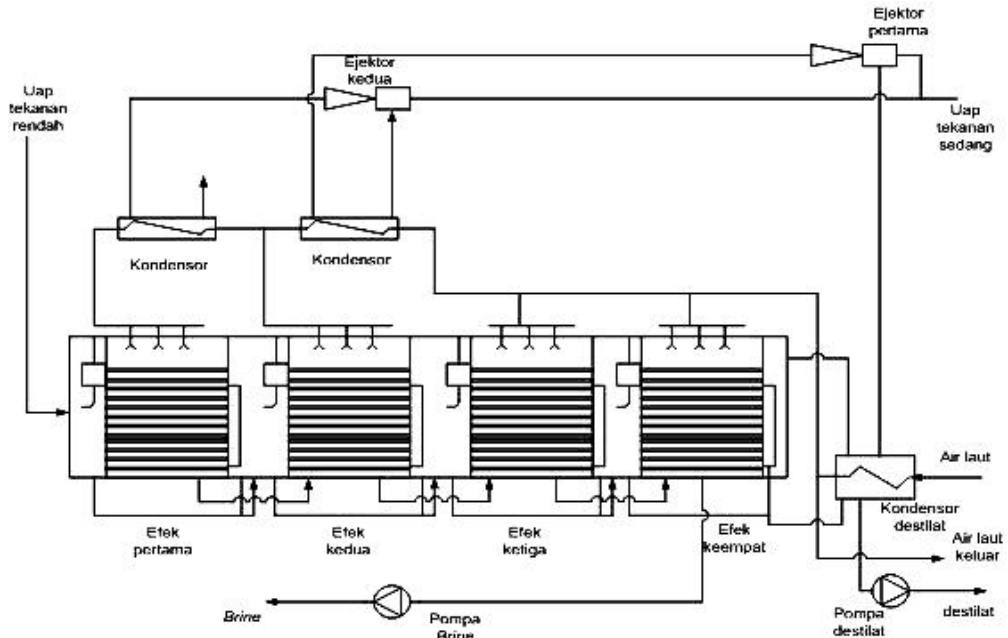


## Bahan

Bahan yang dapat digunakan sebagai tube adalah paduan Cu/Ni 90/10, Aluminium Brass, AlMgSi0.5 dan SS 1.4565. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk

menentukan jenis bahan yang tepat.

## Potensi Pembentukan Kerak Pada Instalasi MED



Gambar 1.  
Skema Unit Instalasi Desalinasi MED<sup>7)</sup>

Kerak dalam instalasi desalinasi thermal seperti MED, merupakan salah satu faktor yang menurunkan kinerja. Untuk optimisasi proses operasi, maksimum temperatur brine adalah 70°C<sup>12)</sup>, sehingga secara teoritis kerak bukan problem yang besar pada desalinasi temperatur rendah. Namun dalam prakteknya, jika berbagai faktor perawatan tidak dilakukan, kerak dapat terjadi dalam instalasi ini.

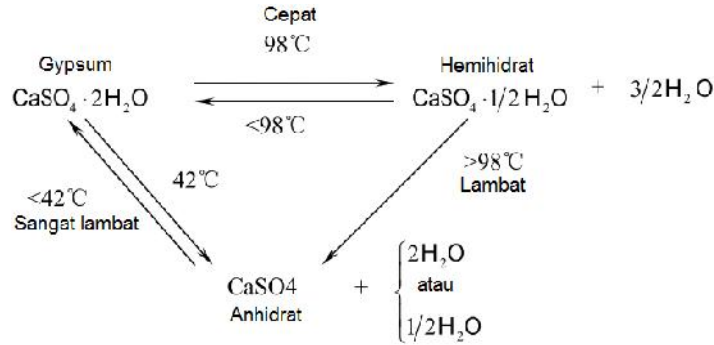
Pembentukan kerak dalam instalasi desalinasi MED disebabkan oleh deposisi garam inorganik seperti kalsium karbonat, kalsium sulfat dan magnesium hidroksida. Kelarutan garam-garam tersebut menurun dengan peningkatan temperatur. Ketika batas kelarutan senyawa tersebut terlampaui, maka kerak akan terbentuk. Pembentukan kerak pada permukaan perpindahan panas akan mengurangi koefisien perpindahan panas keseluruhan. Selanjutnya efisiensi menurun dan produksi air akan menurun.

Dalam alat distilasi multi efek (MED) dengan horisontal tube falling film evaporator, pengurangan atau pencegahan

kerak adalah sukar karena kerak dibentuk pada sisi luar tube. Oleh karena itu metode pembersihan mekanik seperti sistem pembersihan dengan bola bukan merupakan teknik kontrol kerak yang efektif untuk MED. Untuk menentukan teknik kontrol kerak yang efektif maka perlu diketahui potensi pembentukan kerak.

### Kerak CaSO<sub>4</sub>

Kerak kalsium sulfat melekat keras, tidak larut dalam asam mineral dan beberapa pelarut umum lain. Kerak kalsium sulfat adalah hasil kristalisasi langsung gypsum (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), hemihidrat (CaSO<sub>4</sub>·1/2H<sub>2</sub>O) dan anhidrat (CaSO<sub>4</sub>) dari air laut, ketika batas kelarutan terlampaui. Hemihidrat (CaSO<sub>4</sub>·1/2H<sub>2</sub>O) adalah metastabil dan diendapkan ketika air diuapkan pada temperatur di atas 100°C. Fase laju transisi dan temperatur dalam sistem kalsium sulfat larutan diperlihatkan dalam Gambar 2. Di atas sekitar 42°C, anhidrat stabil dibentuk, dan di bawah temperatur ini gypsum juga stabil<sup>10)</sup>.



Gambar 2. Fase Laju Transisi dan Temperatur dalam Sistem Kalsium Sulfat Larutan<sup>13)</sup>.

Di atas 98°C, bentuk hemihidrat lebih stabil daripada gypsum, tapi kurang stabil dari anhidrat. Di atas 42°C, nukleasi dari anhidrat, tidak spontan. Pertamakali, hemihidrat akan terbentuk, dan selanjutnya ditransformasi menjadi anhidrat perlahan-lahan. Kristal gypsum adalah monoklinik, hemihidrat heksagonal dan anhidrat orthorombik.

Kelarutan kalsium sulfat menurun dengan peningkatan temperatur. Dalam larutan garam yang mengandung ion-ion umum, kelarutan kalsium sulfat akan menurun. Namun dalam larutan dengan konsentrasi garam tinggi, efeknya adalah kebalikan. Beberapa studi memperlihatkan bahwa kelarutan semua garam kalsium sulfat meningkat dengan peningkatan konsentrasi NaCl, dan mencapai maksimum antara 2-3 molal dan menurun pada tingkat garam lebih tinggi. Ion magnesium cukup signifikan mempengaruhi kelarutan kalsium sulfat karena muatan densitas tinggi. Gypsum lebih larut dalam larutan magnesium klorida, daripada dalam larutan NaCl.

Potensi pembentukan kerak kalsium sulfat dapat dihitung dengan persamaan berikut<sup>13)</sup>:

$$SI(CaSO_4) = \frac{[Ca^{2+}][SO_4^{2-}]}{K_{sp}}$$

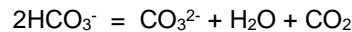
dengan,

- SI : Indeks pergerakan
- [Ca<sup>2+</sup>] : Konsentrasi molar Ca<sup>2+</sup>
- [SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] : Konsentrasi molar SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>
- K<sub>sp</sub> CaSO<sub>4</sub> : 2 x 10<sup>-5 14)</sup>

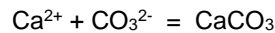
Harga SI kurang dari 1 menandakan larutan kurang jenuh, sehingga kerak CaSO<sub>4</sub> tidak akan terbentuk. SI lebih dari 1 menandakan larutan lewat jenuh, sehingga kerak akan terbentuk.

**Kerak CaCO<sub>3</sub> dan Mg(OH)<sub>2</sub>**

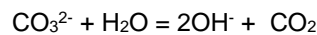
Kerak alkali merupakan hasil interaksi antara produk dekomposisi dan hidrolisis dari ion bikarbonat dalam air laut dengan ion kalsium dan magnesium, sehingga menghasilkan CaCO<sub>3</sub> dan Mg(OH)<sub>2</sub><sup>15)</sup>. Pada pemanasan air laut di atas temperatur 45°C, bikarbonat akan terdekomposisi yang reaksinya adalah sebagai berikut <sup>16,17)</sup> :



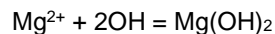
Ini akan menyebabkan pengendapan CaCO<sub>3</sub>, ketika batas kelarutan terlampaui (K = 4,7 - akan 6,9 x 10<sup>-9)</sup><sup>14)</sup>, dengan reaksi sebagai berikut :



Pada temperatur yang lebih tinggi ( 80°C), ion karbonat terhidrolisa menjadi OH<sup>-</sup> dengan reaksi sebagai berikut :



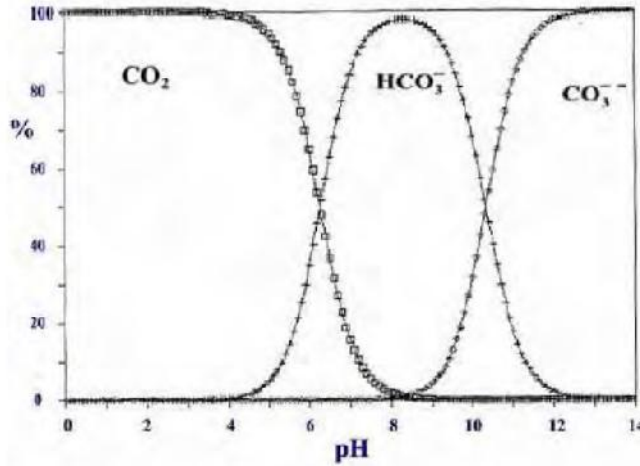
Ion hidroksil akan menyebabkan terbentuknya Mg(OH)<sub>2</sub> yang tidak larut (K=8,9 x 10<sup>-12)</sup><sup>15)</sup>.



Deposisi kalsium karbonat juga tergantung pH. Kisaran pH, dari distribusi jenis karbonat dalam air laut diperlihatkan dalam Gambar 3. Asam karbonat adalah dominan di bawah pH 6, dan ion karbonat di atas pH 9. Di antara pH 6 dan 9, air mengandung ion bikarbonat.

Parameter lain yang mempengaruhi pembentukan kerak adalah adanya gas-gas yang tidak terkondensasi yang disebabkan oleh kebocoran *flange*, *man hole*, *nozle*, dan lain-lain, yang menjadi bagian operasi evaporator, yang dapat menyebabkan pelepasan CO<sub>2</sub> dari evaporasi. Pelepasan CO<sub>2</sub> dari evaporasi larutan garam, akan mempengaruhi konsentrasi ion-ion

bikarbonat,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$ , sehingga mempengaruhi pembentukan kerak<sup>16)</sup>.



Gambar 3. Distribusi Jenis Karbonat pada 25°C<sup>18)</sup>.

Salah satu persamaan yang dapat mengindikasikan terbentuknya kerak  $\text{CaCO}_3$  adalah *Langelier Saturation Index* (LSI). LSI merupakan indeks kualitatif yang mengindikasikan suatu larutan jenuh atau tidak jenuh dengan  $\text{CaCO}_3$ <sup>19)</sup>. LSI juga dapat mengindikasikan kecenderungan korosifitas<sup>20)</sup>. LSI didefinisikan sebagai :

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pH}_s$$
 dengan,  
 pH : harga pH sebenarnya  
 pH<sub>s</sub> : harga pH dari  $\text{CaCO}_3$  jenuh

$$\text{pH}_s = \text{pK}_2 - \text{pK}_{sp} + \text{pTA} + \text{p}[\text{Ca}^{2+}]$$
 dengan, :

- $\text{K}_2$  : Konstanta disosiasi ke dua asam karbonat
- $\text{K}_{sp}$  : Konstanta kelarutan kalsium karbonat
- TA : Total alkalinitas
- $[\text{Ca}^{2+}]$  : Konsentrasi kalsium
- p : negatif logaritme

Jika harga LSI negatif ( $\text{pH} < \text{pH}_s$ ), air tidak jenuh dengan  $\text{CaCO}_3$  dan air potensial korosif, jika  $\text{LSI} < -0,5$ <sup>21)</sup>. Sebaliknya, jika LSI positif ( $\text{pH} > \text{pH}_s$ ), air super jenuh dengan  $\text{CaCO}_3$ , dan air berpotensi membentuk kerak. Air jenuh mempunyai harga LSI nol ( $\text{pH} = \text{pH}_s$ ).

Selain pH, temperatur dan pelepasan  $\text{CO}_2$  (dalam kasus kerak alkali), faktor utama yang mempengaruhi pembentukan kerak adalah konsentrasi ion-ion  $\text{HCO}_3^-$ , total alkalinitas,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$  yang ada dalam air umpan. Pada studi ini akan dianalisis potensi pembentukan kerak,

dengan air umpan dari Teluk Manggris, Pulau Bangka, yang hasil analisisnya diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Air Laut Teluk Manggris<sup>1)</sup>.

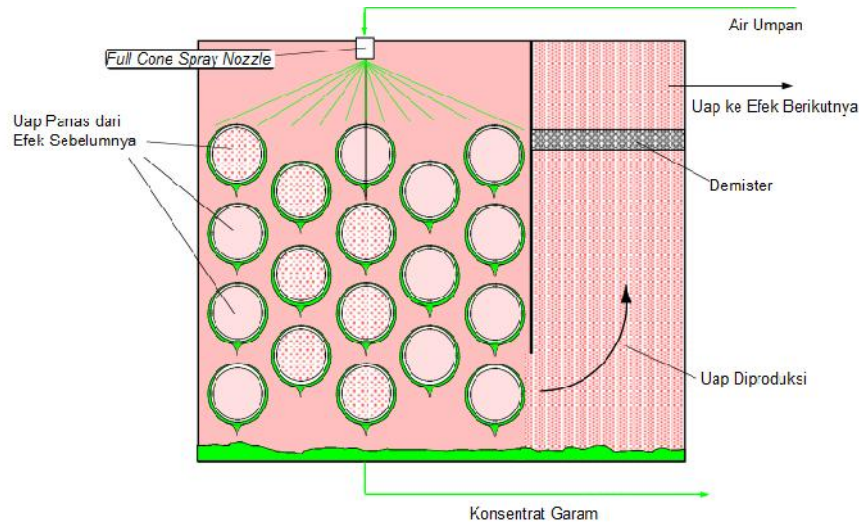
No.	Parameter	Satuan	Hasil
1.	pH	-	6,85
2.	Konduktivitas	$\mu\text{S}/\text{cm}$	43,5
3.	Total alkalinitas sbg $\text{CaCO}_3$	ppm	200,85
4.	TDS	ppm	32804,00
5.	Padatan tersuspensi	ppm	48,20
6.	Kalsium (Ca)	ppm	433,74
7.	Magnesium (Mg)	ppm	1938,63
8.	Sodium (Na)	ppm	10992,96
9.	Potasium (K)	ppm	327,87
10.	Klorida (Cl)	ppm	16820,07
11.	Sulfat ( $\text{SO}_4$ )	ppm	3898,92
12.	Bikarbonat	ppm	244,60
13.	$\text{SiO}_2$	ppm	1,34
14.	F	ppm	tdt

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagian besar evaporator MED untuk desalinasi air laut menggunakan prinsip seperti diperlihatkan dalam Gambar 4. Teknologi untuk mendispersikan dan menguapkan sebagian air laut di bagian luar *tube* adalah teknologi yang paling umum<sup>22)</sup>. Sistem distribusi yang bertugas mendistribusikan air umpan terletak pada puncak bundel *tube* horisontal. Air umpan mengalir dari *tube row* ke *tube row*, dan sebagian diuapkan. Rasio air umpan berbanding distilat 3:1, yang maksudnya 33,3% air umpan diuapkan. Problem utama dalam desain evaporator tersebut adalah menjamin aliran yang cukup dari air umpan

pada *tube*. Oleh karena itu, mengontrol pembentukan kerak di luar *tube* sangat

diperlukan, untuk menjaga aliran air umpan.



Gambar 4. Prinsip Kerja Horizontal Tube (Falling Film) Evaporator<sup>23)</sup>.

Terdapat dua kemungkinan fenomena yang dapat menyebabkan pembentukan kerak dalam *falling film* evaporator yaitu kelarutan terbalik dari *hardness salt* dengan temperatur dan pengendapan garam pada *tube*, ketika aliran air laut menurun sampai di bawah aliran desain minimum<sup>24)</sup>.

Air laut adalah larutan elektrolit campuran, dengan komposisi kimia yang bervariasi. Air laut mempunyai karakteristik dengan salinitas tinggi dan bervariasi tergantung lokasi. Dari hasil analisis air laut yang diambil dari Teluk Manggris, pulau Bangka, seperti terlihat dalam Tabel 1, akan dianalisis kemungkinan pembentukan kerak.

Potensi pembentukan kerak  $CaSO_4$  dapat dianalisis sbb:

$$SI(CaSO_4) = \frac{[Ca^{2+}][SO_4^{2-}]}{K_{sp}}$$

Kapasitas produk desalinasi 90.000m<sup>3</sup>/hari = 3.750 m<sup>3</sup>/jam dan densitas air laut 1030 kg/m<sup>3</sup><sup>25)</sup>. Penguapan di evaporator diasumsi 40% agar beban panas yang dibutuhkan tidak terlalu besar sehingga menjaga alat, maka jumlah aliran air umpan:

$$\frac{100}{4} \times 3750 \frac{m^3}{jam} = 9375 m^3 / jam$$

Massa air laut yang dimasukkan ke evaporator = jumlah aliran air umpan x densitas

$$= 3750 \frac{m^3}{jam} \times 1030 \frac{kg}{m^3} = 9656250 kg / jam$$

Perhitungan massa tiap komponen diperlihatkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Massa Tiap Komponen

No	Parameter	% massa	Massa, kg/jam
1	pH		
2	Konduktivitas Total		
3	alkalinitas sbg CaCO <sub>3</sub>	0,0201	1.939,46
4	TDS	3,2804	316.763,63
5	Padatan tersuspensi	0,0048	465,43
6	Kalsium (Ca)	0,0434	4.188,30
7	Magnesium (Mg)	0,1939	18.719,90
8	Sodium (Na)	1,0993	106.150,77
9	Potasium (K)	0,0328	3.165,99
10	Klorida (Cl)	1,6820	162.418,80
11	Sulfat (SO <sub>4</sub> )	0,3899	37.648,95
12	Bikarbonat	0,0245	2.361,92
13	SiO <sub>2</sub>	0,0001	12,94
14	F		
15	H <sub>2</sub> O	96,5294	9.321.117,0
Jumlah		100,000	9.656.250,0

$$SI(CaSO_4) = \frac{[Ca^{2+}][SO_4^{2-}]}{K_{sp}} = \frac{0,0112 \times 0,0418}{2 \cdot 10^{-5}} = 23,408$$

Perhitungan konsentrasi tiap komponen diperlihatkan dalam Tabel 3.

Tabel 3.  
Konsentrasi Tiap Komponen

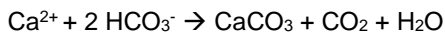
No	Parameter	Mol, kmol/jam	Konsentrasi kmol/m <sup>3</sup>
1	pH		
2	Konduktivitas		
3	Total alkalinitas sbg CaCO <sub>3</sub>		
4	TDS		
5	Padatan tersuspensi		
6	Kalsium (Ca)	104,71	0,0112
7	Magnesium (Mg)	780,00	0,0832
8	Sodium (Na)	4.615,25	0,4923
9	Potasium (K)	81,18	0,0087
10	Klorida (Cl)	4.575,18	0,4880
11	Sulfat (SO <sub>4</sub> )	392,18	0,0418
12	Bikarbonat	38,72	0,0041
13	SiO <sub>2</sub>	0,22	0,0000
14	F	-	
15	H <sub>2</sub> O	517.839,83	

Karena  $SI > 1$ , maka larutan lewat jenuh sehingga kerak CaSO<sub>4</sub> akan terbentuk.

Jika dilihat dari tingkat kejenuhan :  
 $[Ca^{2+}].[SO_4^{2-}] = 0,0112 \cdot 0,0418 = 4,6722 \cdot 10^{-4}$   
 $K_{sp} CaSO_4 = 2 \cdot 10^{-5}$

Sehingga hasil kali konsentrasi  $> K_{sp}$ , maka terbukti juga kalau larutan lewat jenuh.

Potensi pembentukan kerak CaCO<sub>3</sub> diprediksi dengan menentukan nilai LSI.



$K_2 = 5,6 \cdot 10^{-11}$ , maka  $pK_2 = 10,25$ .

$K_{sp} = 3,8 \cdot 10^{-9}$ , maka  $pK_{sp} = 8,42$

TA = 200,85 ppm =  $2,0085 \cdot 10^{-4}$ , maka

pTA=3,70

$[Ca^{2+}] = 0,0112 \text{ kmol/m}^3$ , maka  $p[Ca^{2+}] = 1,95$

Sehingga :

$$\begin{aligned} pH_s &= pK_2 - pK_{sp} + pTA + p[Ca^{2+}] \\ &= 10,25 - 8,42 + 3,70 + 1,95 \\ &= 7,48 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LSI &= pH - pH_s \\ &= 6,85 - 7,48 \\ &= -0,63 \end{aligned}$$

Diperoleh LSI bernilai negatif ( $pH < pH_s$ ) maka air tidak jenuh dengan CaCO<sub>3</sub> dan air potensial korosi.

Potensi pembentukan kerak Mg(OH)<sub>2</sub> diprediksi dengan menentukan hasil kali konsentrasi komponen.



$$[Mg^{2+}] = 0,0832 \text{ kmol/m}^3$$

$$\begin{aligned} [OH^-] &= 2 \times [Mg^{2+}] = 2 \times 0,0832 \\ &= 0,1664 \text{ kmol/m}^3 \end{aligned}$$

Hasil kali konsentrasi komponen :

$$\begin{aligned} Q &= [Mg^{2+}] \times [OH^-]^2 = (0,0832) \times (0,1664)^2 \\ &= 2,3037 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

$$K_{sp} Mg(OH)_2 = 8,9 \times 10^{-12}$$

Karena  $Q > K_{sp}$ , maka Mg(OH)<sub>2</sub> mengendap, sehingga potensial membentuk kerak.

## SIMPULAN

Dari hasil analisis disimpulkan bahwa dalam instalasi desalinasi nuklir proses MED dengan air umpan dari Teluk Manggris, dengan kapasitas 90.000 m<sup>3</sup>/hari berpotensi terbentuk kerak. Hasil perhitungan menunjukkan harga indeks pengerakan CaSO<sub>4</sub> sebesar 23,408, yang mengindikasikan bahwa ada potensi pembentukan kerak oleh CaSO<sub>4</sub>. Potensi timbulnya kerak CaCO<sub>3</sub> tidak ada, karena diperoleh harga LSI negatif dengan nilai -0,63. Namun air potensial bersifat korosif sehingga pertimbangan dalam pemilihan bahan alat perlu dilakukan. Selain itu juga terdapat potensi terbentuknya kerak Mg(OH)<sub>2</sub> yang ditunjukkan oleh lebih besarnya harga hasil kali konsentrasi komponen dari pada K<sub>sp</sub>.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Sriyana, MT., yang telah berkenan memberi arahan dan masukan dalam penulisan makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. HENI SUSIATI, dkk., Studi Rona Awal Lingkungan Pada Tahap Pra-Survei di Dua Daerah Interes Untuk PLTN di Pulau Bangka, Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir IV, PPEN, BATAN, 2011.
2. ISHIGURE K, et. al., Hand Book Kimia Air Reaktor, Corona-sha, Japan, 2000.
3. Erlan Dewita, dkk., Optimasi Desain Desalinasi Nuklir menggunakan Konsep *Zero Discharge Desalination* (ZDD), Program Insentif Kegiatan Riset Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perakayasa (PKPP) Litbang Iptek Tahun 2012.
4. IAEA, Status of Design Concepts of Nuclear Desalination Plants, TECDOC-1326, IAEA, Vienna, November 2002.
5. Siti Alimah, Studi Proses Desalinasi Untuk PLTN Jenis PWR, Presentasi Ilmiah di PPEN, BATAN, 28 Mei 2008.
6. Siti Alimah, dkk, Aspek Tekno-Ekonomi Penggunaan TVC Pada Desalinasi MED Untuk Pasokan Air Bersih PLTN, Prosiding Seminar Nasional ke-15 Teknologi dan Keselamatan PLTN, serta Fasilitas Nuklir, 17 Oktober 2009.
7. I.S. Park, et.all., Design and Application of Thermal Vapor Compressor for Multi-Effect Desalination Plant, *Desalination* 182, 21 Februari 2005
8. IAEA, Introduction of Nuclear Desalination, Technical Reports Series No.400, IAEA, Vienna, 2000.
9. Al-Shammiri M.A., et.all., Scaling Potential of a Doha Beachwell at Different Operating Temperatures, *Kuwait J. Science Engineering* 35, 2008.
10. Wildebrant, C., Effect of Process Parameters and Antiscalant on Scale Formation in Horizontal Tube Falling Film Evaporator, *Desalination* 204, 2007.
11. AL-HAMZAH, A.A., et.all., A Comparative Study of Novel AScale Inhibitors with Commercial Scale Inhibitor Used in Seawater Desalination, *Desalination* 359, 2015.
12. Ophir A, et.all., Advanced MED Process for Most Economical Sea Water Desalination, *Desalination* 182, 2005.
13. Yuan Wang, Composite Fouling of Calcium Sulfate and Calcium Carbonate in a Dynamic Seawater RO Unit, Thesis Master of Science, Australia, December, 2005.
14. <http://www.wiredchemist.com/chemistry/data/solubility-product-constants>, diakses, Juni 2015.
15. Sam El Din, A.M., et.all., Scale Formation in Flash Chamber of High Temperature MSF Distiller, *Desalination* 177, 2005.
16. Siti Alimah, Fenomena Kerak Dalam Desalinasi dengan MSF, *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, Vol. 8, No.1, Juni 2006.
17. Suresh Patel, et.all, New Antifoulant for Deposit Kontrol in MSF and MED Plant, *Desalination* 124, 1999.
18. Al-Rawajfeh, A.A., CO<sub>2</sub> Release in Multiple-Effect Distiller Controlled by Mass Transfer With Chemical Reaction, *Desalination* 156, 2003.
19. Al-Rawajfeh, A.A, et all., Scaling in Multiple-Effect Distiller : The Role of CO<sub>2</sub> Release, *Desalination* 182, 2005.
20. Faizur Rahman, et.all, Scale Formation and Control in Thermal Desalination Systems, *The Science and Technology of Industrial Water Treatment*, February, 2009.
21. <https://smk3ae.wordpress.com/2008/07/15/korosifitas-kerak-dan-perhitungannya/>, diakses Juni 2015.
22. Paul Schausberger, et.all., Heat Transfer in Horizontal Falling Film Evaporators, *IDA World Congress*, November 7-12, 2009.
23. Greffart, R., Effect of Scaling on Design and Operation of Thermal Seawater Desalination Plants, *Scaling Colour E. Doc*, Jerman, September, 2002.
24. Budhiraja, P., et.all., Studies of Scale Formation and Optimization of Antiscalant Dosing in Multi-Effect Thermal Desalination Units, *Desalination* 220, 2008.
25. Beicher, Robert J., *Physics for Scientists and Engineers*, Orlando : Saunders College, 2000.

## **EFEK PENAMBAHAN Cu TERHADAP SIFAT LISTRIK KOMPOSIT MULTI WALLED CARBON NANOTUBES-CUPPER-POLYVINYL ALCOHOL ( MWCNT-Cu-PVA )**

## **EFFECT OF Cu ADDED TO ELECTRICITY PROPERTIES MULTI WALLED CARBON NANOTUBES-CUPPER-POLYVINYL ALCOHOL COMPOSITE ( MWCNT-Cu-PVA )**

**P. Purwanto<sup>a)</sup> dan Muflikah<sup>b)</sup>**

<sup>a,b)</sup> Pusat Sains Dan Teknologi Bahan Maju – BATAN,

Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang -15314

e-mail: [ppurwanto88@gmail.com](mailto:ppurwanto88@gmail.com) dan [muflikah@batan.go.id](mailto:muflikah@batan.go.id)

### **Abstrak**

Komposit MWCNT-Cu-PVA dibuat dengan mencampurkan serbuk MWCNT dan serbuk Cu dengan variasi konsentrasi Cu 1% dan 4% berat. Selanjutnya kedua bahan tersebut diaduk dengan metode metalurgi serbuk selama 1 jam. Hasil pola difraksi sinar-X komposit MWCNT-Cu-PVA menunjukkan adanya puncak CNT dan Cu dengan pola sama. Spektroskopi Raman menunjukkan bahwa D band muncul pada 1310-1320  $\text{cm}^{-1}$ , puncak harmonik kedua G band muncul pada Raman shift 1605–1615  $\text{cm}^{-1}$ . Konduktivitas komposit MWCNT-Cu-PVA meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi, namun nilai kapasitasnya semakin menurun. Titik puncak kurva cole-cole plot pada komposit MWCNT-Cu-PVA, yang merupakan perbedaan titik dimana suatu bahan bekerja secara efektif pada frekuensi tertentu.

Kata Kunci : Karbon nanotube, Difraksi Sinar-X, Spektroskopi Raman, Konduktivitas

### **Abstract**

*The composite of MWCNT-Cu-PVA have been made from mixing MWCNT and Cu powder with the variance of Cu concentration from 1% and 4% weight. The composite was mixed for 1 hour with solid state reaction methode. The peaks of X-Ray Diffraction of MWCNT-Cu-PVA indicated the same peak of MWCNT and Cu. Spectroscopy Raman indicated that D band visssible at wave number 1310 to 1320  $\text{cm}^{-1}$ , peak of second harmonic G band at wave number 1605 to 1615  $\text{cm}^{-1}$  was Raman shift. The result of electrical parameter using LCR instrument indicated that conductivities value of MWCNT–Cu-PVA was increased with the the increasing of concentration Cu (weight percent). The peak point of curve of cole-cole MWCNT-Cu-PVA composite indicated a effective point a materials for working at certainly frequency.*

Keywords : Carbon nanotube, X-Ray Diffraction, Raman Spectroscopy, Conductivity.

Diterima (received) : 19 Juli 2016, Direvisi (Revised) : 12 Oktober 2016, Disetujui (Accepted) : 28 November 2016

## PENDAHULUAN

*Carbon nanotube (CNT)* memiliki berbagai tipe diantaranya adalah *Single Walled Nanotube (SWCNT)*, yang merupakan gulungan lembaran grafit dengan ukuran lebih pendek dan memiliki struktur satu dimensi. Bentuk lain dari *CNT* adalah *Multi walled Carbon Nanotube (MWCNT)* yang memiliki struktur lebih dari satu dimensi dan ukurannya pendek <sup>1)</sup>.

Bahan konduktor padat mempunyai sifat konduktivitas yang bergantung pada frekuensi dan suhu. Pada suhu tertentu suatu bahan konduktor padat dapat mengalami cacat atau transisi fasa <sup>2-4)</sup>. Nilai resistivitas listrik *SWCNT* adalah sekitar  $10^{-6}$  ohm.cm, sedangkan untuk *MWCNT*  $3 \times 10^{-5}$  ohm cm. Hal ini menunjukkan bahwa *CNT* adalah konduktor yang memiliki nilai resistivitas lebih baik dari logam seperti Cu pada suhu ruang. Adanya cacat atau pengotor yang terbentuk pada *CNT* menunjukkan nilai konduktivitas yang lebih rendah dari pada *CNT* yang berstruktur bebas cacat <sup>5,6)</sup>. Lapisan tipis Carbon nanotube/copper (*CNT/Cu*) di buat dengan metode *electrophoresis* dan *electroplating* dan digunakan dalam aplikasi *interconnection* <sup>7)</sup>. Pengaplikasian bahan nanokomposit berbasis karbon untuk sensor dan sensor biomedik <sup>8)</sup>.

Pada penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap bahan komposit *MWCNT-Cu* hasil reaksi padatan atau secara metalurgi serbuk. Pengamatan komposit *MWCNT-Cu* dengan menggunakan difraksi sinar-X dan spektroskopi Raman serta dilakukan pengujian sifat listrik terhadap bahan tersebut.

## METODOLOGI PERCOBAAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk *MWCNT* kemurnian > 95 % merek "cheap tube", dan serbuk tembaga (Cu) produk *Aldrich* yang memiliki tingkat kemurnian 99,9%. Serbuk Cu dan *MWCNT* ditimbang dengan komposisi sebagai berikut: *MWCNT(99%)-Cu(1%)* dan *MWCNT(96%)-Cu(4%)*. Berat total masing-masing campuran serbuk adalah 5 gram. Campuran serbuk ini kemudian diproses dengan cara reaksi padatan atau metalurgi serbuk selama 1 jam pada suhu ruang. Peralatan percobaan semua berada di Bidang Sains Bahan

Maju, PSTBM-BATAN. Campuran serbuk hasil proses metalurgi serbuk dikarakterisasi dengan difraksi sinar-X dan Raman spektroskopi serta sifat listrik diuji dengan LCR-meter.

## HASIL DAN DISKUSI

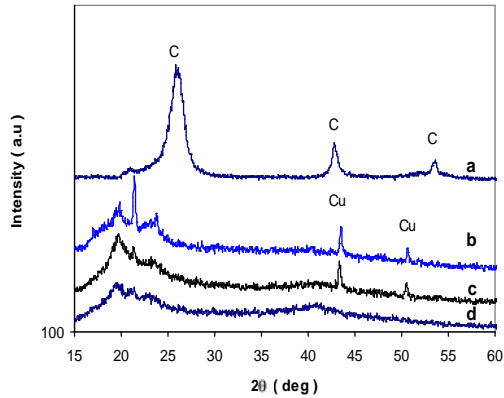
### Difraksi Sinar-X

Hasil identifikasi Pola difraksi sinar-X menunjukkan bahwa bahan komposit *MWCNT-Cu* yang dibuat melalui proses metalurgi serbuk berfasa majemuk dengan struktur *MWCNT* dan Cu seperti terlihat pada Gambar 1. Komposit telah mengalami difusi yang ditunjukkan oleh turunnya intensitas difraksi. Sedangkan pelebaran puncak difraksi dapat dikaitkan dengan ukuran partikel atau butiran, dimana puncak yang melebar menunjukkan kehalusan butir atau sebaliknya akibat proses metalurgi serbuk <sup>9)</sup>.

Proses deformasi ini adanya partikel Cu yang terdifusi kedalam *MWCNT* yang tentunya akan sangat berpengaruh pada sifat listrik komposit *MWCNT-Cu*. Kenaikan sifat listrik bahan akibat adanya cacat butiran yang diharapkan terjadi pada setiap butiran agar gerakan ion-ion mudah bergerak dengan energi aktivasi yang kecil. Dari pola difraksi ada butiran yang mengalami cacat, sehingga konduktivitas bahan diperkirakan dapat meningkat. Peningkatan konduktivitas ini disebabkan adanya penambahan Cu ke dalam fasa *MWCNT* yang menyebabkan cacat pada butiran. Menurut P. Padma Kumar *et al* <sup>10)</sup>, cacat pada kristal akan menimbulkan mobilisasi ion di dalam kristal dan dapat meningkatkan konduktivitas bahan.

Pola difraksi sinar-X dari komposit *MWCNT-Cu*, memperlihatkan adanya perubahan pada intensitas seiring dengan naiknya konsentrasi Cu serta adanya pergeseran pada sudut difraksi dari bahan komposit tersebut. Untuk mengetahui pergeseran sudut difraksi, maka dilakukan analisis puncak difraksi sinar-X komposit *MWCNT-Cu* menggunakan program *Lorentzian*. Dari analisis tersebut diperoleh identifikasi fasa seperti ditunjukkan pada Tabel 1(a-c).





Gambar 1.  
Pola difraksi komposit *MWCNT-Cu-PVA*.  
a). *MWCNT* b). *MWCNT-Cu4-PVA*  
c). *MWCNT-Cu1-PVA* d). *PVA*

**Tabel 1a.**  
**Hasil analisis puncak-puncak difraksi komposit *MWCNT***

2	I ( a.u )	β ( rad )
25,9652	1000	0,0128
42,8810	350	0,0022
53,5341	210	0,0015

**Tabel 1b.**  
**Hasil analisis puncak-puncak difraksi komposit *MWCNT-Cu1-PVA*.**

2 ( ° )	Int ( a.u )	β ( rad )
19,7674	875	0,0186
21,3234	638	0,0004
23,1150	493	0,0050
43,3738	434	0,0003
50,5190	199	0,0004

**Tabel 1c.**  
**Hasil analisis puncak-puncak difraksi komposit *MWCNT-Cu4-PVA*.**

2 ( ° )	Int ( a.u )	β ( rad )
19,7012	678	0,0068
21,4168	937	0,0003
23,7802	649	0,0001
43,5284	532	0,0002
50,6548	341	0,0003

**Tabel 1d.**  
**Ukuran Butiran *MWCNT-Cu-PVA***

Sampel	Ukuran Butiran (nm)
MWCNT	5,96
MWCNT-Cu1-PVA	9,28
MWCNT-Cu4-PVA	30,00

Dari Gambar 1, dilakukan analisis dengan program *Lorentzian* untuk menghitung sudut 2 theta dan lebar setengah puncak (FWHM), yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 1(a-c). Analisa dilakukan menggunakan persamaan Williamson dan Hall <sup>11)</sup> :

$$\frac{1}{\beta \cos \theta} = \frac{0,9}{D} + (2,0 \sin^2 \theta) \eta \quad (1)$$

dimana : β adalah lebar setengah puncak difraksi (FWHM) dalam (rad), θ sudut Bragg (°), λ panjang gelombang sinar-X (°A), D adalah ukuran butiran (nm) dan η regangan butiran. Dari data Tabel 1(a-c), hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 1d, dimana tampak terlihat bahwa ukuran butiran naik seiring dengan naiknya konsentrasi Cu. Hal ini menunjukkan terjadi difusi pada *MWCNT-Cu-PVA*. Terjadinya difusi pada komposit *MWCNT-Cu-PVA* ditunjukkan dengan naiknya intensitas difraksi pada komposit *MWCNT-Cu-PVA*.

#### Raman Spektroskopi

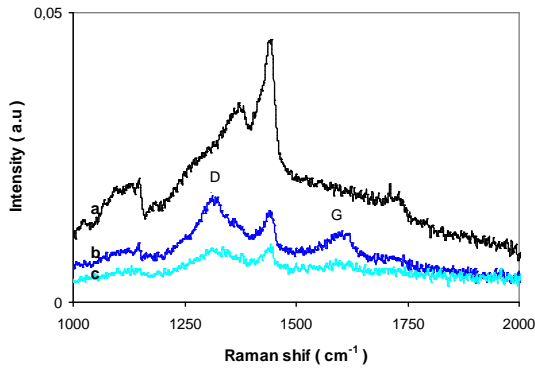
Dalam analisis dengan spektroskopi Raman dengan menggunakan laser power 10 mV dan panjang gelombang 768 nm.

Gambar 2a, menunjukkan spektrum Raman PVA dan Gambar 2b dan 2c spektrum raman komposit *MWCNT-Cu1-PVA* dan *MWCNT-Cu4-PVA*. Hasil analisis intensitas puncak *D band* dan *G band* ditunjukkan pada Tabel 2. Karakter penting dari hasil spektrum Raman adalah diperoleh spektrum yang muncul dari sampel *MWCNT* yaitu munculnya puncak utama *D band* dan *G band* <sup>12)</sup>.

**Tabel 2.**  
**Intensitas Raman *MWCNT-Cu-PVA***

Cu (%)	ID	IG	ID/IG
1	0,01812	0,01116	1,6237
4	0,00834	0,00623	1,3387

Gambar 2b, spektrum Raman yang menunjukkan puncak *D band* pada 1324,5 cm<sup>-1</sup>, puncak harmonik kedua *G band* pada 1604,5 cm<sup>-1</sup> untuk komposit *MWCNT-Cu1-PVA*



Gambar 2.  
Raman Spektroskopi *MWCNT-Cu-PVA*.  
a). PVA b). *MWCNT-Cu1-PVA* c).  
*MWCNT-Cu4-PVA*

Komposit *MWCNT-Cu4-PVA* puncak *D band* muncul pada 1322,5 cm<sup>-1</sup>, puncak harmonik kedua *G band* pada 1607,2 cm<sup>-1</sup>, ditunjukkan pada Gambar 2c. Puncak *D band* diaktifkan pada urutan yang pertama dari proses hamburan karbon Sp<sup>2</sup> melalui keberadaannya di dalam *vacancies*, di batas butiran serbuk, atau cacat (*defect*) lainnya, yang menurunkan kesimetrian kisi<sup>13)</sup>. Puncak *D band* berasal dari gangguan di dalam Sp<sup>2</sup> karbon dan dapat juga muncul karena adanya pengotor (*impurities*) atau distorsi kisi pada karbon nanotube *MWCNT*. Oleh karena itu keberadaan puncak D band menunjukkan gangguan (kekacauan) di dalam kerangka heksagonal *MWCNT*<sup>14,15)</sup> dalam hal ini adalah gangguan dari dicampurnya serbuk Cu ke dalam *MWCNT*. Nilai intensitas Raman mengalami penurunan seiring dengan semakin besarnya nilai persen berat Cu di dalam *MWCNT*, dengan kata lain semakin besar kandungan pengotor yang menimbulkan distorsi kisi pada kerangka heksagonal *MWCNT*. Keberadaan puncak *G band* sendiri berhubungan dengan modus E<sub>2g</sub><sup>16)</sup> dari grafit berorientasi tinggi dan menunjukkan adanya karbon kristal pada sampel *MWCNT*. Nilai intensitas Raman dari puncak *G band* juga menurun seiring dengan penurunan persen berat Cu di dalam *MWCNT*. Perbandingan nilai intensitas puncak *D band* dan puncak *G band* (*I<sub>D</sub>/I<sub>G</sub>*) yang ditampilkan pada Tabel 2 di dalam gambar hasil Raman menunjukkan adanya penurunan seiring dengan bertambahnya persen berat Cu di dalam *MWCNT*. Penurunan (*I<sub>D</sub>/I<sub>G</sub>*) mengindikasikan turunnya derajat

kristalinitas pada sampel *MWCNT* dan naiknya tingkat pengotor dalam *MWCNT*.

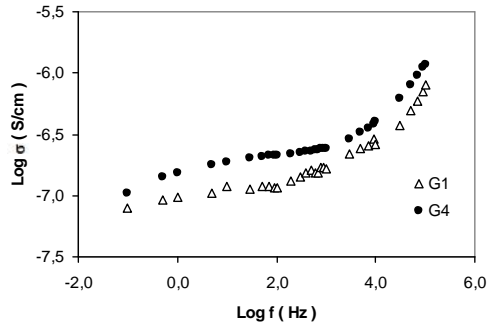
**Konduktivitas Listrik.**

Pengukuran konduktivitas listrik dilakukan dengan menggunakan LCR meter HITESTER-3522-5 HIOKI. Perhitungan konduktivitas listrik *Cu-MWCNT-PVA* dilakukan memakai persamaan model yang dilakukan oleh W.K.Lee.et al<sup>17)</sup> yaitu : $\sigma = \sigma_0 f^s$ , persamaan ini diubah menjadi bentuk logaritma yaitu :

$$\log \sigma = \log \sigma_0 + s.\log f \quad (2)$$

dimana:  $\sigma$  adalah konduktivitas (S/cm),  $f$  adalah frekuensi (Hz), faktor *exponent power* ( $0 < s < 1$ ).

Pada Gambar 3, menunjukkan nilai konduktivitas listrik *MWCNT-Cu-PVA* naik seiring dengan naiknya frekuensi dan konsentrasi Cu. Konduktivitas suatu bahan akan meningkat bila bahan tersebut mengalami suatu *defect Frenkel* atau *Shoctky*<sup>10)</sup>.



Gambar 3.  
Konduktivitas komposit *Cu-MWCNT-PVA* dengan variasi *Cu*. a). G1=*Cu1-MWCNT-PVA*  
b).G4= *Cu4-MWCNT-PVA*

**Tabel 3.**  
**Konduktivitas *MWCNT-Cu-PVA***

Konsentrasi Cu (%)	Konduktivitas $\sigma$ (S/cm)	
	I	II
1	$9,26 \times 10^{-8}$	$1,44 \times 10^{-8}$
4	$14,68 \times 10^{-8}$	$1,52 \times 10^{-8}$

**Tabel 4.**  
**Kapasitansi *MWCNT-Cu-PVA***

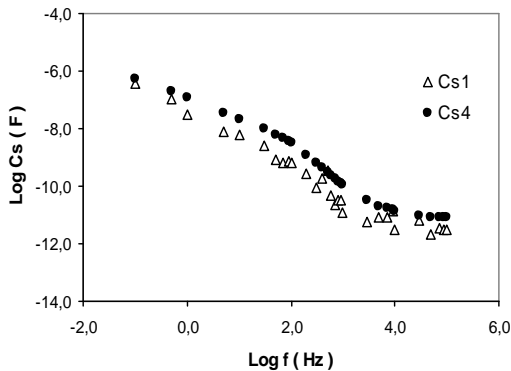
Konsentrasi Cu (%)	Kapasitansi (Farad)	
	I	II

1	$4,74 \times 10^{-8}$	$1,04 \times 10^{-10}$
4	$1,04 \times 10^{-10}$	$15,87 \times 10^{-10}$

Perhitungan konduktivitas komposit *MWCNT-Cu-PVA* dilakukan dengan menggunakan persamaan (2). Hasil perhitungan konduktivitas ditunjukkan pada Tabel 3, konduktivitas komposit *MWCNT-Cu1-PVA* pada saat frekuensi 0,01 Hz dengan nilai  $\sigma$  sekitar  $9,26 \times 10^{-8}$  S/cm pada daerah frekuensi 0,01 Hz sampai 900 Hz dan konduktivitas pada daerah frekuensi 1000 Hz sampai 100 k.Hz nilai konduktivitas  $\sigma$  sekitar  $1,44 \times 10^{-8}$  S/cm.

Sedangkan konduktivitas komposit *MWCNT-Cu4-PVA* pada saat frekuensi 0,01 Hz dengan nilai  $\sigma$  sekitar  $14,68 \times 10^{-8}$  S/cm pada daerah frekuensi 0,01 Hz sampai 900 Hz dan konduktivitas pada daerah frekuensi 1000 Hz sampai 100 k.Hz nilai konduktivitas  $\sigma$  sekitar  $1,52 \times 10^{-8}$  S/cm.

Naiknya konduktivitas dikarenakan adanya difusi Cu ke dalam *MWCNT* yang menyebabkan bertambahnya jumlah pembawa muatan. Adanya difusi Cu ke dalam *MWCNT* akan menurunkan energi aktivasi yang diperlukan elektron untuk bergerak dari satu kisi ke kisi yang lain, sehingga pada akhirnya meningkatkan mobilitas ion positif sehingga konduktivitas akan meningkat<sup>17)</sup>. Peneliti lain telah melakukan penelitian tentang konduktivitas yang tergantung frekuensi, suhu, dan komposisi serta transformasi fasa, pada suhu tertentu suatu bahan mengalami cacat atau transformasi fasa<sup>6-8,17)</sup>, sehingga memberi pengaruh peningkatan sifat listrik seperti konduktansi dan lainnya.

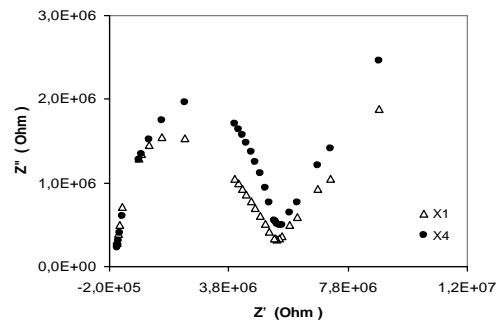


Gambar 4.

Kapasitansi komposit *MWCNT-Cu-PVA* dengan variasi Cu. a). Cs1= *MWCNT-Cu1-PVA* b).Cs4= *MWCNT-Cu4-PVA*.

Gambar 4, ditunjukkan kurva kapasitansi turun seiring dengan naik frekuensi dan kapasitansi naik seiring naiknya konsentrasi Cu. Kenaikan kapasitansi ini bertambah muatan elektron pada Cu, tapi kapasitansi turun seiring dengan naik frekuensi, ini dikarenakan daya untuk menyimpan muatan mencapai titik jenuh.

Kurva impedansi yang ditunjukkan pada Gambar 5 merupakan frekuensi maksimum Untuk komposit *MWCNT-Cu1-PVA* dan *MWCNT-Cu4-PVA* dengan besar frekuensi  $f = 1/ (2\pi.R.C)$  yang mengidentifikasi titik maksimum suatu bahan yang efektif bekerja pada frekuensi tertentu. Kedua ujung kaki puncak pada kurva *cole-cole plot* menunjukkan kontak antara sampel dengan elektroda. Pada umumnya titik ujung kedua kurva *cole-cole plot* berbeda nilai impedansinya.



Gambar 5.

Impedansi komposit *MWCNT-Cu-PVA* dengan variasi Cu. a). X1= *MWCNT-Cu1-PVA* b).X4= *MWCNT-Cu4-PVA*

## SIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pola difraksi sinar-X pada komposit *MWCNT-Cu-PVA* dengan konsentrasi Cu berbeda, menunjukkan pola yang sama untuk komposit *MWCNT-Cu1-PVA* dan *MWCNT-Cu4-PVA*. Ukuran butiran komposit naik seiring dengan naiknya konsentrasi berat Cu. Spektrum Raman *MWCNT-Cu-PVA* menunjukkan nilai intensitas *G* dan *D band* turun seiring dengan kenaikan konsentrasi berat Cu. Hasil ini mengindikasikan turunnya derajat kristalinitas *MWCNT-Cu-PVA* dan naiknya tingkat pengotor di dalam *MWCNT-Cu-PVA*. Konduktivitas komposit *MWCNT-Cu-PVA* naik

sebanding dengan naiknya konsentrasi berat Cu dan naiknya frekuensi, sedangkan kapasitansinya turun. Titik puncak kurva *cole-cole plot* pada komposit *MWCNT-Cu-PVA*, yang mengidentifikasi titik efektif suatu bahan bekerja pada frekuensi tertentu adalah berbeda.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih telah diperkenankan menggunakan peralatan yang ada di BSBM-PSTBM BATAN serta kepada staf BSBM yang telah membantu dalam pembuatan cuplikan dan staf BSBM yang lain. Peneliti mengucapkan terima kasih atas kerja sama proyek DIPA "Penelitian dan Pengembangan Bahan GMR untuk Biosensor" sampai selesai penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. V. Shanov, Y.Heung Yun, M.J. Schulz," Synthesis and Characterization of Carbon Nanotube Materials", ***Journal of the University Of Chemical Technology and Metalurgy.41 (2006)*** 377-390.
2. Yulkifli Zdzyszynski, " In Situ High Temperature X-Ray Diffraction Characterization on Silver Sulfide ", ***International Centre for Diffraction Data***, (2011) 110-117.
3. S. Hull, " Superionics : Crystal Structure and Conduction Processes", ***Rep.Prog.Physics.67 (2004)*** 1233-1314.
4. Qingwen Li, Yuan Li, Xiefei Zhang, at all " Structure Dependent Electrical Properties of Carbon Nanotube Fibers", ***Advance Materials.19 (2007)*** 3358-3363.
5. P.J.F. Harris," Carbon Nanotube Composite", ***International Material Review.49 (2004)*** 31-43.
6. P.Liu, D. Xu, Z. Li, B. Zhao, E.siu-Wai Kong, Y.Zhang," Fabrication of CNTs/Cu composite thin film for interconnects application", *Microelectronic Engineering* 85, (2005) 1984-1987.
7. N. Sinha, T.W. John, Yeow, "Carbon Nanotube for Biomedical Application", *Transaction on Nanoboiscience.* 4 (2005) 1-16.
8. K.G. Williamson and Hall, " X-Ray Line Broading From Filed Al and Wolfram", *Acta.Met*, Vol.1 (1953) 22-31.
9. P. Padma Kumar and S. Yashonath," Ionic Conduction in The Solid State", *Journal of Chemistry of Science.* 118, No. 1 (2006) 135-154.
10. K.N.R. Rehani, P.B. Joshi, K.N. Lad and A. Pratap, " Crystallite Size Estimation of Elemental and Composite Silver Nano Powder Using XRD Principle", *Indian J ournal of Pure Physics*, Vol. 44, (2006) 157-161.
11. Z.Gang. Zhao, L. Jie Ci, H. Ming Cheng, J.Bo Bai," The Groth of MWCNT with Different Morphologies on Carbon Fibers", *Journal Carbon.43*, (2005) 651-673.
12. E.F. Antunes, A.O. Lobo, E.J. Corat, V.J. Trava Airoldi, "Influence of Diameter in the Raman Spectra of Aligned MMCNT", *Journal Carbon* 45 (2007) 913-921.
13. S. Reich and C. Thomsen. Raman Spectroscopy of Graphite. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London .A* 362,(2004) 2271-2288.
14. C. Thomsen, S. Reich, and J. Maultzsch.Resonant Raman Spectroscopy of Nanotubes. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London .A* 362,(2004) 2337-2359
15. L.Bokobza and J. Zhang.2012.Raman Spectroscopy Characterization of Multiwall Carbon Nanotube and of composite. *Polymer letter.6*,(2012) 601-608.
16. W.K. Lee, J.F. Liu and A.S. Nowick," Limiting Behavior of ac Conductivity in ionically conducting Crystals and Glasses : A New Universality", *Physical Review.67* (1991) 1559-1561.
17. , K.J. Parwanta, Ramli dan M. Djamal,"
18. Pengukuran Magnetoresistansi Film Tipis dan Hubungannya Dengan Ketebalan Lapisan Tipis Feromagnetik/Non magnetik, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Edisi Khusus Desember, (2009) 161-166.
19. T. Blanton, S. Mixture, N. Dontula and S.

## **PENGARUH PENINGKATAN % REDUKSI TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK PADUAN KUNINGAN Cu-Zn 70/30 SETELAH PROSES *WARM ROLLING* PADA SUHU 400°C**

### **THE EFFECT OF % REDUCTION ENHANCEMENT TO MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF Cu-Zn BRASS 70/30 ALLOY *WARM ROLLING* AT 400°C**

Eka Febriyanti<sup>b</sup>, Amin Suhadi<sup>b</sup>, Dedi Priadi<sup>a</sup>, Rini Riastuti<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia, Depok, 16424

<sup>b</sup>Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur, BPPT, Puspiptek Serpong, 15314

E-mail : <sup>b</sup>eka.febriyanti@bppt.go.id, <sup>b</sup>amin.suhadi@bppt.go.id

<sup>a</sup>dedi@metal.ui.ac.id, <sup>a</sup>rini.riastuti@yahoo.com

#### **Abstrak**

Paduan Cu-Zn 70/30 banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena memiliki sifat yang unggul dan belum ada penggantinya. Untuk memperoleh paduan Cu-Zn 70/30 dengan sifat mekanik yang lebih baik maka dilakukan riset baik modifikasi dari jenis material yang sudah ada ataupun material baru agar sesuai dengan kebutuhan industri. Untuk mengurangi biaya produksi, namun tetap menghasilkan sifat mekanik yang baik tanpa penambahan paduan maka dikembangkan metode penghalusan butir. Salah satu alternatif proses fabrikasi untuk mengoptimalkan sifat mekanik paduan Cu-Zn 70/30 yaitu dengan metode *warm rolling*. *Warm rolling* yang dilakukan pada pelat paduan Cu-Zn 70/30 menggunakan % reduksi dari 29,03%, 34,4%, dan 38,16% pada suhu 400°C secara *double pass reversible*. Hasil metalografi didapat ukuran butir yang semakin menurun sebesar 30,03  $\mu\text{m}$  di bagian tepi dan 33,45  $\mu\text{m}$  di bagian tengah pada % reduksi 38,16%. Hasil uji tarik dengan % reduksi 38,16% menghasilkan nilai *ultimate tensile strength* (UTS) sebesar 478 MPa, *yield strength* (YS) sebesar 434 MPa, dan persentase elongasi sebesar 9%. Untuk hasil uji kekerasan menghasilkan nilai kekerasan sebesar 135,8 HV di bagian tepi dan 128,4 HV di bagian tengah pada % reduksi 38,16%.

**Kata Kunci** : Paduan Cu-Zn 70/30, butir halus, sifat mekanis, *warm roll*

#### **Abstract**

*Cu-Zn 70/30 alloys are widely used in many industrial products because of its superior characteristic and there is no substitute. To obtain Cu-Zn alloy material whose better mechanical properties then it is done research in the form of new material or modification material from existing types of materials to appropriate with industry necessary. To minimize production cost, but it still produce good mechanical properties without the addition of alloy then it is developed grain refinement method which refers to Hall-Petch law. One of fabrication process alternative to optimize the mechanical properties of Cu-Zn 70/30 alloy namely warm rolling. Warm rolling is conducted to Cu-Zn 70/30 alloy in various reduction percentage at a level of 29,03%; 34,4%, and 38,16% at 400°C by double pass reversible method. By metallographic examination is obtained decreasing of grain size of 30,03  $\mu\text{m}$  at the edges and of 33,45  $\mu\text{m}$  in the central part sample on 38,16% deformation degree. Meanwhile, by tensile testing can be seen that Cu-Zn 70/30 alloy material with 38,16% deformation degree produces ultimate tensile strength (UTS) value of 478 MPa, yield strength (YS) value of 434 MPa, and*

*elongation percentage value of 9%. The hardness value obtained approximately around 135,8 HV to 128,4 HV in the edges to the middle part of material on 38.16% % reduction.*

**Keywords :** *Cu-Zn 70/30 alloy, fine grain, mechanical properties, warm rolling*

Diterima (received) : 21 Juli 2016, Direvisi (Revised) : 14 Oktober 2016, Disetujui (Accepted) : 25 November 2016

## PENDAHULUAN

Saat ini, kuningan secara luas diterapkan dalam berbagai aplikasi teknologi, dan kuningan termasuk logam paling umum yang digunakan dalam kelompok logam non-ferrous. Oleh karena sifat khususnya, kuningan banyak diaplikasikan untuk berbagai bidang industri seperti diantaranya industri sipil, industri persenjataan, industri pesawat terbang, bodi mesin, motor mobil, industri elektrik, bodi kapal, industri kimia, dll bahkan dalam produksi instrumen musik.

Untuk memperoleh material paduan Cu-Zn 70/30 yang memiliki sifat mekanis yang optimal dan ringan maka dilakukan riset dalam menghasilkan material baru ataupun modifikasi dari jenis material yang sudah ada agar sesuai dengan kebutuhan industri. Untuk meminimalisir biaya produksi namun tetap menghasilkan sifat mekanis yang baik tanpa penambahan paduan maka dikembangkan metode penghalusan butir yang mengacu pada hukum Hall-Petch. Dengan metode penghalusan butir didapatkan sifat mekanis material yang tinggi terutama kekuatan luluh dan kekerasan<sup>[1]</sup>.

Beberapa proses perubahan bentuk logam konvensional seperti *multi-pass* canai, tempa, dan ekstrusi, menghasilkan produk dengan ketebalan yang paling tipis dan ketebalan paling kecil. Hal ini menyebabkan produk tersebut tidak bisa digunakan untuk aplikasi struktural<sup>[1]</sup>. Oleh karena itu, untuk menghasilkan logam bulk tanpa terjadi perubahan bentuk dan peningkatan biaya produksi maka proses fabrikasi material semakin berkembang pesat yang mengarah pada metode penghalusan butir. Salah satu alternatif proses fabrikasi yang berkembang yaitu proses perubahan bentuk hangat (*warm forming*)<sup>[2]</sup>.

*Warm forming* adalah salah satu metode perlakuan terhadap material logam untuk menghasilkan mikrostruktur yang halus pada material logam dan paduannya dengan suhu kerja berada di antara suhu pengerjaan panas (*hot forming*) dan suhu pengerjaan dingin (*cold forming*). Kisaran suhu pengerjaan hangat berada pada rentang di

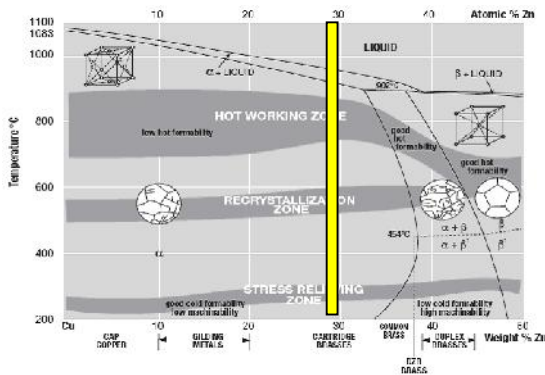
atas suhu ruang, namun lebih rendah dibandingkan suhu rekristalisasi. Berdasarkan rentang suhu operasi pengerjaan hangat, setelah terjadi deformasi plastis, material sebagian mengalami pengerasan regangan/*strain hardened* dan sebagian mengalami rekristalisasi<sup>[2]</sup>.

Pada proses pengerjaan hangat tidak lagi dibutuhkan perlakuan panas lainnya. Selain menghasilkan butir yang lebih halus, proses ini akan mengalami pembentukan sub-butir (*subgrain*) yang berukuran *micrometer* maupun *sub-micrometer* pada butir yang berukuran lebih besar atau kasar. Sebagai hasil pembentukan sub-butir, sifat mekanis dari material akan meningkat.

Jika dibandingkan dengan proses pengerjaan panas yang membutuhkan energi panas yang besar dan mahal, proses pengerjaan hangat ini dapat menghasilkan material yang mendekati dimensi akhir yang diinginkan. Sedangkan jika dibandingkan dengan proses pengerjaan dingin, metode pengerjaan hangat membutuhkan gaya deformasi yang lebih rendah, memberikan rasio deformasi yang lebih besar, menghasilkan deformasi yang lebih seragam terhadap daerah transversal dan menghasilkan struktur mikro dengan tegangan sisa yang lebih rendah<sup>[3]</sup>.

Untuk paduan Cu-Zn 70/30, rentang pengerjaan *warm forming* berada pada suhu 0,4 s/d 0,6 T<sub>m</sub> (*melting point*) yaitu berkisar antara 382°C-573°C<sup>[4]</sup>. Pada diagram biner Cu-Zn seperti yang terlihat pada Gambar 1 menunjukkan bahwa pada kondisi pemanasan di suhu 400°C paduan *cartridge brass* (Cu-Zn 70/30) yang digunakan sebagai bahan dalam penelitian ini berada pada rentang antara daerah *stress relieve* dan daerah rekristalisasi. Menurut Izumi Osamu yang melakukan penelitian pada kuningan alfa menunjukkan bahwa tidak ada perubahan besar butir dari perlakuan anil pada suhu 150°C. Lalu pada suhu 250°C terjadi perubahan struktur butir menjadi polygon, walaupun tempat pengintian baru terjadi pada area yang paling padat dislokasinya. Kemudian pertumbuhan butir

baru terjadi pada suhu 350°C di sekitar bidang geser kristal<sup>[5]</sup>.



Gambar 1. Diagram Biner Cu-Zn<sup>[6]</sup>

Oleh karena fenomena pada paduan kuningan alfa setelah pemanasan di suhu > 350°C belum banyak diketahui maka dilakukan penelitian ini yang bertujuan untuk mempelajari hubungan antara penghalusan butir (*grain refinement*) terhadap perubahan sifat mekanis pada pelat paduan Cu-Zn 70/30 yang dilakukan proses *warm rolling* di suhu 400°C dengan metode *double pass reversible* sebanyak 29,03%; 34,4%; dan 38,16%.

## BAHAN DAN METODE

Sampel yang digunakan adalah paduan Cu-Zn 70/30 dengan komposisi yang ditampilkan pada Tabel 1.

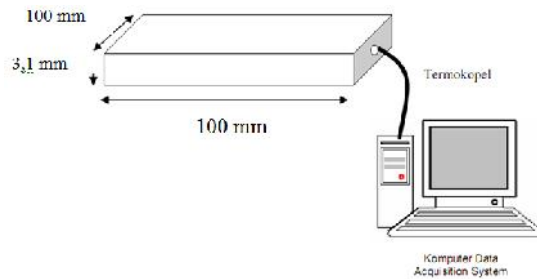
Tabel 1. Komposisi Sampel Paduan Cu-Zn 70/30

Unsur	Penelitian (wt%)	Target* (wt%)
Cu	69,5	69,5-72
Zn	30,7	sisa
Fe	0,026	~ max. 0,05
Sn	0,0062	~ max. 0,03
Al	< 0,002	~ max. 0,03
Ni	-	~ max. 0,2
As	< 0,001	~ max. 0,02
Pb	< 0,005	~ max. 0,05
Si	< 0,005	~ max. 0,01
Mn	0,0052	~ max. 0,04
P	< 0,003	~ max. 0,05
Sb	-	~ max. 0,01
Bi	-	~ max. 0,04

\* Target : standard

Pengujian komposisi material paduan Cu-Zn 70/30 dilakukan dengan menggunakan *optical emission spectroscopy* (OES) di laboratorium.

Ukuran benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelat berdimensi 100 mm x 100 mm x 3,1 mm seperti yang ditampilkan pada Gambar 2, lalu dihubungkan dengan kawat termokopel tipe K berdiameter 2 mm. Pengukuran temperatur menggunakan *data acquisition system* yang dihubungkan dengan perangkat komputer.

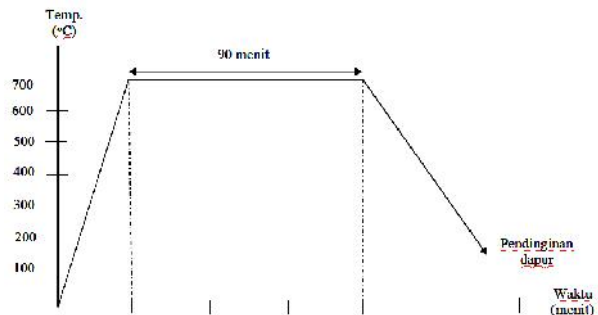


Gambar 2.

Contoh Rangkaian Pengujian Canai Hangat

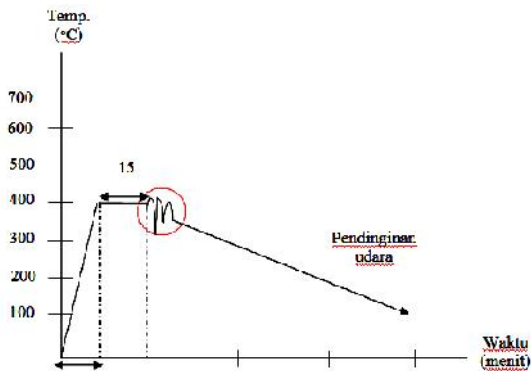
Proses deformasi *warm rolling* didahului dengan pemanasan sampel pada dapur karbolit dengan suhu 700°C selama 90 menit, yang kemudian dilanjutkan proses *rolling* pada mesin rol kapasitas 20 tonF dengan parameter deformasi *rolling double pass reverse*, secara bolak-balik berturut-turut sebanyak 29,03%; 34,4%; dan 38,16% yang dilanjutkan dengan pendinginan udara.

Penelitian ini diawali dengan pemanasan awal sampel dari suhu ruang ke suhu 700°C selama 30 menit lalu ditahan selama 90 menit untuk proses homogenisasi yang bertujuan untuk menghasilkan ukuran butir yang lebih seragam. Kemudian dilanjutkan dengan pendinginan dalam oven ke suhu ruang seperti yang terlihat pada Gambar 3. Selanjutnya dilakukan pemanasan ke suhu 400°C dengan waktu 15 menit dan ditahan selama 15 menit lalu dilakukan *warm rolling* secara *double pass reversible* dengan % reduksi 29,03%; 34,4%; dan 38,16% kemudian dilanjutkan dengan pendinginan di udara, tahapan proses seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.





Gambar 3.  
Diagram Tahapan Homogenisasi di Suhu 700°C selama 90 Menit



Gambar 4.  
Diagram Tahapan Warm Rolling pada Suhu 400°C dengan Metode Double Pass Reversible

Pengamatan struktur mikro melalui proses metalografi berdasarkan standard ASTM E3-01<sup>[7]</sup>. Proses metalografi diawali dengan pemotongan sampel sesuai dengan permukaan yang akan diamati. Kemudian dilanjutkan dengan proses mounting yaitu membungkus sampel kedalam resin dimana daerah sampel yang akan diamati bedrada pada permukaan. Selanjutnya dilakukan proses pengampalsan (grinding) dan pemolesan. Proses selanjutnya adalah proses etsa yang bertujuan untuk memunculkan jejak batas butir pada benda uji dengan menggunakan zat etsa ferric klorida atau 10% FeCl<sub>3</sub> yang terdiri atas 10 gr FeCl<sub>3</sub> dan 100 ml alkohol 96%. Kemudian dilakukan pengamatan struktur mikro dan ukuran butir rata-rata menggunakan mikroskop optik.

Untuk mengetahui perubahan sifat mekanik dilakukan pengujian tarik dan pengujian kekerasan. Pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik *Servopulser Shimadzu* mengacu pada standar ASTM E8<sup>[8]</sup>. Dari hasil uji tarik diperoleh data kekuatan tarik (UTS), kekuatan luluh (YS), dan nilai keuletan.

Kemudian dilakukan pengujian kekerasan menggunakan metode Vicker's dengan menggunakan standar ASTM E 92<sup>[9]</sup>. Karena ketebalan material benda uji yang tipis yaitu sebesar 3,1 mm, maka dilakukan pengujian metode kekerasan secara mikro untuk mengetahui distribusi kekerasan baik di bagian tepi maupun di bagian tengah hasil *warm rolling*.

Selanjutnya setelah dilakukan proses *warm rolling* maka dilakukan pengukuran

tingkat deformasi melalui persamaan sebagai berikut :

$$\% \text{ Deformasi} = \frac{H_o - H_f}{H_o} \quad (1)$$

dimana :

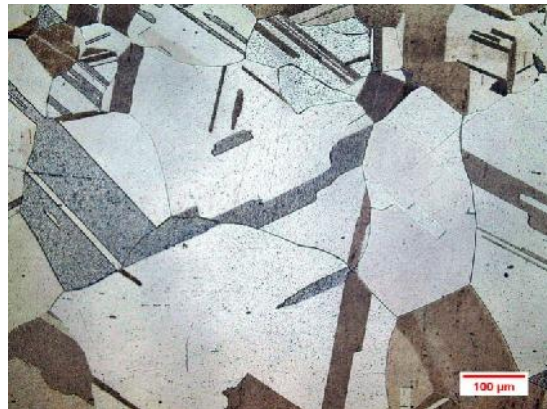
% deformasi = % reduksi, H<sub>o</sub> = tebal awal benda uji (mm), H<sub>f</sub> = tebal akhir benda uji (mm). Sedangkan untuk menghitung besar regangan yang terjadi saat proses *warm rolling* maka digunakan persamaan berikut <sup>[10]</sup>:

$$\epsilon = 1.155 \ln (h_o/h_f) = 1.155 \ln [1/(1-r)] \quad (2)$$

$$\dot{\epsilon} = \epsilon \times \frac{v_R}{\sqrt{[R(h_o-h_f)]}} \quad (3)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Paduan Cu-Zn 70/30 yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelat yang sebelumnya telah mengalami proses homogenisasi di suhu 700°C selama 90 menit seperti yang terlihat pada Gambar 5.



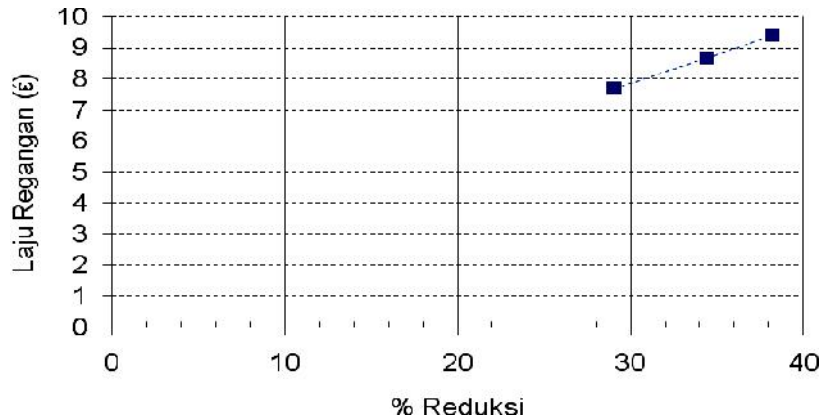
Gambar 5.  
Foto Mikrostruktur Sampel Paduan Cu-Zn 70/30 setelah Homogenisasi 700°C selama 90 Menit. Etsa 10% FeCl<sub>3</sub>

Hasil pengukuran besar butir menunjukkan bahwa diameter butir rata-rata dari pelat yang dihomogenisasi mencapai 71,82 µm dengan suktur mikro paduan Cu-Zn 70/30 terdiri dari butiran dengan twin berbentuk garis-garis sejajar <sup>[11-13]</sup>.

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara % reduksi dengan laju regangan *warm rolling* pada material paduan Cu-Zn 70/30. Dari gambar tersebut terlihat bahwa dengan semakin meningkatnya % reduksi hingga mencapai 38,16% menunjukkan tren positif



terhadap peningkatan laju regangan hingga 9,4.

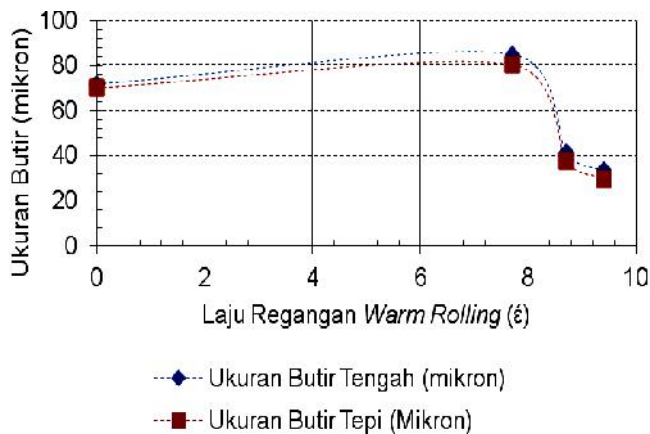


Gambar 6.

Hubungan antara % reduksi dengan laju regangan *warm rolling* paduan Cu-Zn 70/30

Gambar 7 menunjukkan hubungan antara laju regangan *warm rolling* pada material paduan Cu-Zn 70/30 dengan ukuran butir (micron). Dari gambar tersebut terlihat bahwa

dengan semakin meningkatnya laju regangan *warm rolling* menyebabkan ukuran butir yang semakin halus, baik di bagian tepi maupun tengah seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7.

Hubungan antara ukuran butir ( $\mu\text{m}$ ) dengan laju regangan *warm rolling* paduan Cu-Zn 70/30

Ukuran butir terkecil diperoleh di suhu *warm rolling* 400°C dengan laju regangan 9,4. Hal tersebut dapat dilihat pada mikrostruktur butir dari hasil perlakuan deformasi tersebut pada Gambar 8a dan 8b. Laju regangan yang semakin tinggi dapat mempengaruhi jumlah inti atau kecepatan pengintian. Dari laju regangan yang lebih tinggi akan didapatkan lebih banyak inti per satuan volume untuk rekristalisasi sehingga didapatkan ukuran butir yang lebih kecil [11,14-18]. Dengan semakin

besar laju regangan *warm rolling* maka semakin halus dan semakin kecil butir yang terbentuk seperti yang terlihat pada Gambar 7.

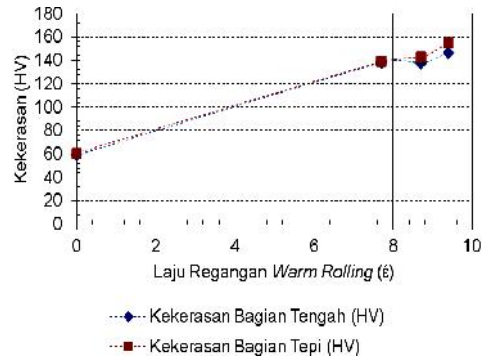
Pada Gambar 8 menunjukkan bahwa ukuran butir bagian tepi lebih halus dibandingkan bagian tengah. Hal tersebut disebabkan karena nilai rendah (merupakan rasio ketebalan/diameter benda uji terhadap panjang kontak antara *roller* dan benda uji) sehingga menghasilkan regangan

permukaan yang lebih tinggi dibandingkan bagian tengah. Perbedaan regangan antara bagian tepi dan tengah menghasilkan aliran yang tidak homogen sehingga ukuran butir di bagian tepi setelah rekristalisasi lebih halus dibandingkan bagian tengah<sup>[19]</sup>.



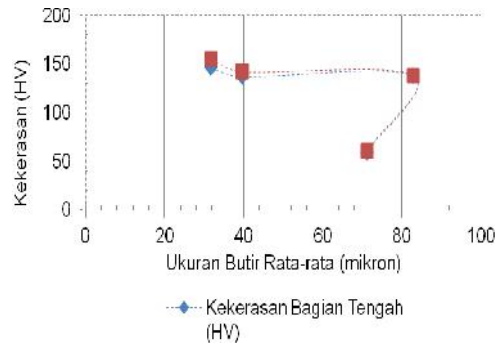
Gambar 8. Foto mikrostruktur untuk paduan Cu-Zn 70/30 hasil *hot roll* pada  $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan deformasi 38,16% (a) Bagian tepi, (b) Bagian tengah. Etsa : 10%  $\text{FeCl}_3$

Pada Gambar 9 menunjukkan bahwa dengan semakin meningkatnya laju regangan, maka kekerasan material paduan Cu-Zn 70/30 baik di bagian tepi maupun tengah meningkat.



Gambar 9. Hubungan antara nilai kekerasan (HV) dengan laju regangan hasil *warm rolling* paduan Cu-Zn 70/30

Pengaruh ukuran butir rata-rata terhadap nilai kekerasan dapat dilihat pada Gambar 10. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa dengan semakin besar ukuran butir rata-rata maka kekerasan bagian tepi maupun tengah menurun, namun penurunannya tidak signifikan.



Gambar 10. Hubungan antara ukuran butir rata-rata, ( $\mu\text{m}$ ) dan kekerasan mikro (HV) dari paduan Cu-Zn 70/30 yang diproses *warm rolling* di suhu  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$

Perbedaan kekerasan yang tidak signifikan disebabkan karena persentase reduksi actual masih di bawah persentase reduksi kritis, meskipun terjadi peningkatan laju regangan *warm rolling* dan penurunan ukuran butir akibat pemanasan adiabatik<sup>[19]</sup>.

Selain itu, menurut Zainul Huda dan Ooi So Peng<sup>[20]</sup> yang melakukan canai dingin pada aluminum komersial murni kemudian dilanjutkan dengan anil menjelaskan bahwa terdapat hubungan kuat antara ukuran butir dari material yang terekristalisasi dengan persentase deformasi. Ketika peningkatan

presentase deformasi di bawah deformasi kritis, ukuran butir meningkat lalu menurun dengan meningkatnya persentase deformasi di atas deformasi kritis. Untuk deformasi ringan (kurang dari deformasi kritis 30%) pada material yang terekristalisasi, ukuran butir meningkat, dan kekerasan menurun. Sedangkan pada deformasi berat (di atas deformasi kritis 30%) pada material yang terekristalisasi, ukuran butir berkurang, dan kekerasan meningkat.

Kenaikan kekerasan versus peningkatan ukuran butir berhubungan dengan densitas dislokasi yang semakin meningkat di dalam butir dan berdampak pada bertambahnya nilai kekerasan material karena batas butir semakin meningkat dengan ukuran butir yang semakin halus<sup>[21]</sup>.

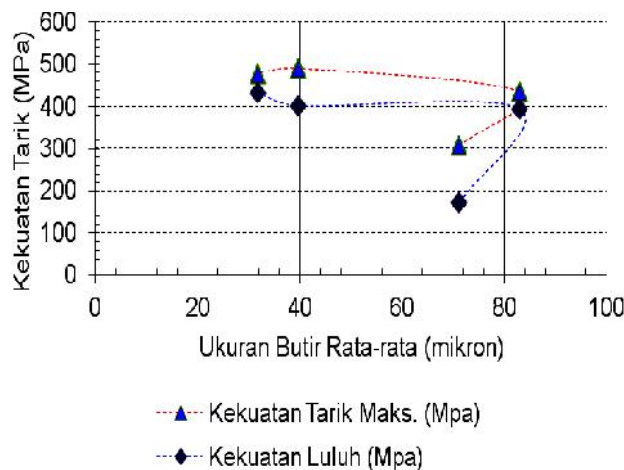
Setelah proses canai hangat melewati suhu 400°C dengan laju regangan 7,7 maka peningkatan kekerasan pada paduan Cu-Zn 70/30 dipengaruhi oleh pengerasan regang karena *proses rolling* dan ukuran butir yang semakin kecil (*strengthening by grain size reduction*). Ukuran butir besar akan menurunkan kekerasan seperti yang terlihat pada Gambar 10 hal ini dikarenakan dengan semakin besarnya  $d^{-1/2}$  maka ukuran butirnya semakin halus yang menyebabkan batas butir akan semakin banyak<sup>[22]</sup>.

Hal ini sesuai dengan pernyataan A.Najafi<sup>[22]</sup> yang menyatakan bahwa dengan semakin besarnya presentase deformasi aktual berarti laju regangan canai hangat yang terjadi semakin tinggi dan menghasilkan ukuran butir yang semakin halus sehingga semakin banyak dislokasi yang bertumpuk di

dalam butir dan menyebabkan terjadinya peningkatan kekerasan dan kekuatan material.

Ukuran butir yang besar menghasilkan nilai kekerasan yang rendah. Hal ini dikarenakan ukuran butir membesar maka jumlah batas butir menurun. Batas butir merupakan tempat dimana dislokasi berhenti karena batas butir mempunyai energi tertinggi untuk memindahkan dislokasi. Oleh karena itu, ketika batas butir menurun, maka dislokasi mudah bergerak dan material paduan Cu-Zn 70/30 mudah untuk berdeformasi yang artinya kekerasan akan turun. Namun, ketika ukuran butirnya lebih halus maka dislokasi sulit untuk bergerak dan material sulit untuk berdeformasi karena batas butirnya banyak. Hal ini menyebabkan kekerasan material menjadi lebih tinggi karena energi yang diperlukan untuk proses deformasi menjadi lebih tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Suryadi, dkk<sup>[23-24]</sup> yang melakukan proses ECAP lalu dilanjutkan dengan anil pemanasan pada paduan Cu-Zn 70/30.

Dengan ukuran butir yang semakin halus pada laju regangan *warm rolling* yang lebih tinggi (Gambar 7), menghasilkan kekerasan (Gambar 10), kekuatan luluh (*yield*), dan kekuatan tarik maksimum yang lebih tinggi seperti yang terlihat pada Gambar 11 dimana ukuran butir yang semakin halus menunjukkan tren positif terhadap peningkatan kekuatan luluh dari material benda uji paduan Cu-Zn 70/30 hasil *warm roll*.



Gambar 11.

Hubungan antara ukuran butir rata-rata ( $\mu\text{m}$ ) dengan kekuatan tarik (MPa) dari paduan Cu-Zn 70/30 yang diproses *warm rolling*

Pada Gambar 11 menunjukkan bahwa dengan semakin meningkatnya ukuran butir maka terjadi penurunan kekuatan tarik maksimum (UTS). Selain itu, nilai UTS terendah tercapai ketika proses deformasi *warm rolling* mencapai laju regangan 7,7. Hal ini berhubungan dengan ukuran butir yang semakin meningkat dengan penurunan laju regangan *warm rolling* seperti yang terlihat pada Gambar 7.

Gambar 11 menunjukkan bahwa dengan semakin besar ukuran butir maka semakin kecil kekuatan luluh. Hal ini sesuai dengan Persamaan Hall-Patch yaitu dengan semakin meningkatnya kehalusan butir atau  $d^{-1/2}$  semakin tinggi maka dapat meningkatkan kekuatan yield material<sup>[10]</sup>.

Material dengan butir yang halus (yang memiliki butir kecil) lebih keras dan kuat dibandingkan material dengan butir kasar, karena butir halus memiliki area batas butir total yang lebih luas untuk menghalangi pergerakan dislokasi sesuai dengan Persamaan Hall-Patch<sup>[10]</sup>.

$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{k_y}{\sqrt{d}} \quad (4)$$

dimana  $y$  merupakan tegangan luluh,  $\sigma_0$  merupakan konstanta material untuk tegangan awal selama pergerakan dislokasi (atau ketahanan kisi terhadap pergerakan dislokasi),  $k_y$  merupakan koefisien penguatan (a konstanta spesifik untuk masing-masing material) dan  $d$  merupakan diameter butir rata-rata

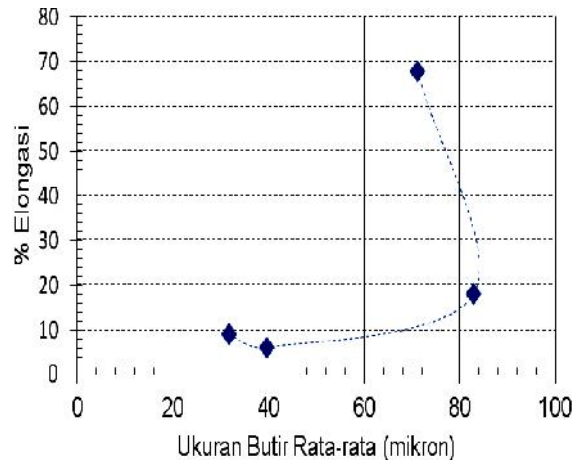
Jadi, dapat disimpulkan bahwa dengan semakin meningkatnya ukuran butir maka berdampak pada menurunnya kekuatan luluh dan UTS dari material paduan Cu-Zn 70/30 yang masing-masing mencapai 395,46 MPa

dan 435,84 MPa dengan semakin meningkatnya laju regangan *warm rolling* seperti yang terlihat pada Gambar 11.

Namun, menurunnya nilai kekuatan baik kekuatan tarik maksimum maupun kekuatan luluh berbanding terbalik dengan persentase elongasi dimana dengan ukuran butir yang semakin besar maka persentase elongasinya semakin tinggi, seperti yang terlihat pada Gambar 12.

Nilai % elongasi yang dihasilkan dari pengujian tarik berkaitan dengan keuletan (*ductility*) suatu material yaitu dengan semakin besarnya persentase elongasi maka secara otomatis keuletan benda uji paduan Cu-Zn 70/30 juga meningkat. Gambar 12 menunjukkan bahwa ukuran butir yang semakin halus atau  $d^{-1/2}$  yang semakin besar maka nilai kekuatan luluh (MPa) material benda uji paduan Cu-Zn 70/30 semakin tinggi. Oleh karena kekuatan luluh berbanding terbalik dengan persentase elongasi sehingga ukuran butir yang semakin halus atau  $d^{-1/2}$  yang semakin besar maka persentase elongasinya semakin rendah seperti yang terlihat pada Gambar 12.

Selain itu, pada % reduksi aktual sebesar 29,03% terjadi pertumbuhan butir abnormal melebihi ukuran butir akibat migrasi batas butir<sup>[14]</sup> mencapai 82,9 mikron. Meskipun ukuran butir melebihi kondisi awal, namun keuletannya masih lebih rendah dibandingkan kondisi awal karena benda uji telah mengalami *strain hardening* akibat proses deformasi *warm rolling*. Sedangkan, pada reduksi actual sebesar 38,16%, oleh karena terjadi fenomena rekritisasi sebagian yaitu timbulnya butir-butir baru di antara butir-butir lainnya seperti yang terlihat pada Gambar 8 (lingkaran) maka % elongasinya meningkat menjadi 7% dibandingkan pada reduksi actual 34,4% yaitu sebesar 6%.



Gambar 12.

Hubungan antara ukuran butir rata-rata dengan % elongasi dari paduan Cu-Zn 70/30 yang diproses *warm rolling*

## SIMPULAN

Setelah *warm rolling* pada suhu 400°C dengan reduksi 38% terjadi perubahan struktur mikro dengan ukuran butir menurun dari 41,57  $\mu\text{m}$  menjadi 33,45  $\mu\text{m}$  di bagian tengah dan 37,8  $\mu\text{m}$  menjadi 30,03  $\mu\text{m}$  di bagian tepi. Kekuatan tarik maksimum menurun dari 490 MPa menjadi 478 MPa dan kekuatan luluh meningkat dari 402 MPa menjadi 434 MPa. Namun, nilai elongasi meningkat dari 6% menjadi 9%. Selain itu, nilai kekerasan meningkat dari 137,59 HV menjadi 146,68 HV di bagian tengah dan meningkat dari 142,4 HV menjadi 155,39 HV di bagian tepi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kemenristekdikti yang memberikan beasiswa sehingga penulis dapat melanjutkan pendidikan S2 DTMM FTUI dan melakukan penelitian. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dr.Barman Tambunan selaku Kepala B2TKS BPPT, Dr. Sri Harjanto selaku Kepala Jurusan DTMM FTUI, dan Dr.Ing.H.Agus Suhartono selaku Kepala Bidang Kajian Material B2TKS, untuk koordinasi dan pemberian ijin dalam menggunakan alat uji laboratorium.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Azushima, A., R.Kopp, A.Korkohen, D.Y.Yang, F.Micari, G.D.Lahoti, "Severe Plastic Deformation (SPD) Process for Metals," *CIRP Annuals Manufacture Technology.*, Vol.57, hal. 716-735, 2008. (7->1)
2. S. Dobatkin, J. Zrnik, "Ultrafine-Grained Low Carbon Steels by Severe Plastic Deformation", *Metalurgija*, vol. 47, hal.181-186, 2008 (8 -> 2)
3. G. H. Akbari, C. M. Sellars, "Microstructural Development During Warm Rolling of IF Steel", *Acta Metallurgica*, vol.45, issue 12, hal. 5047-5058, 1997 (9 -> 3)
4. Zuhail A. K, "Effect Of Annealing On Mechanical Properties Of Brass Alloy Type C38500", *Diyala Journal of Engineering Sciences*, 2015 (2 -> 4)
5. Osamu, Izumi, "Research on The Structure and The Low -Temperature Annealing Effect in Cold-Rolled -Brass,, <http://ci.nii.ac.jp/naid/110004637586/en/> (10 -> 5)
6. Freudenberg, J., Kaumann, A., Klauß, H., Marr, T., Nenkov, K., Subramanya, V. and Schultz, L., "Studies on recrystallization of single-phase copper alloys by resistance measurements", *Acta Materialia*, vol.58, hal. 2324-2329, 2010 (3 -> 6)
7. ASTM E3. *Standard Guide for Preparation for Metallographic Specimens*, 2003. (11->7)
8. ASTM E8, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*, 2003. (12-> 8)

9. ASTM E92, *Standard Test Methods for Vickers Hardness of Metallic Materials*, 2003 (13 -> 9)
10. Callister, W. D. Jr., *An Introduction : Material Science and Engineering*, John Wiley & Son, Inc., hal.373, 2007 (3 -> 10)
11. Humphreys, F.J., dan M.Hatherly, *Recrystallization and Related Annealing Phenomena*, Pergamon Press, 2004 (14-> 11)
12. Ozgovic, W., dkk, "The Microstructure and Mechanical Properties of The Alloy Cu-Zn 70/30 after Recrystallization Annealing", *Journal of Achieve in Material and Manufacturing (JAMME)*, Vol.40, Issue 1, hal.15-24, 2010 15 ->12)
13. L.J., Radovic, dkk., "The Influence of Thermomechanical Treatment on Recrystallization of Al Mg4,5Cu0,5 Alloy", *Metallurgija Journal of Metallurgy*, hal.83-88, 2008 (16 -> 13)
14. Nestorovic S., Desimir Markovic, Ljubic Ivanic, "Influence of Degree of Deformation in Rolling on Anneal Hardening Effect of A Cast Copper Alloy", *Bulletin Material Science*, vol. 26, no. 6. hal. 601-604, 2003 (17 -> 14)
15. C. Zheng, N. Xiao, "Microstructure Prediction of The Austenite Recrystallization During Multi-Pass Steel Strip Hot Rolling," *Computational Materials Science*, voll. 44. hal.507-514, 2008 (18 -> 15)
16. Harold L.Walker, "Grain Size Produced by Recrystallization and Coalescence in Cold Rolled Cartridge Brass," *Buletin Series No. 359*, University of Illinois., vol.43. no. 21, 2000. (19 -> 16)
17. Charlie R.Brooks, "Heat Treatment. Structure and Properties of Non-Ferrous Alloys," ASM International, 2000 (20 -> 17)
18. Verlinden, Berth, Julian Driver, Indradev Samadjar & Roger D.Doherty, *Thermo-Mechanical Processed of Metallic Materials*, Pergamon Press Elsevier. Ltd, vol. 11, 2007. (21 -> 18)
19. William F.Hosford, Robert M.Caddell, *Metal forming Mechanics and Metallurgy*, Prentice Hall-Inc., 2009 (22->19)
20. Huda, Zainul, dan Ooi Soo Peng,"Computation of Critical % Deformation and Its Effect on The Microstructure of Coomercial Purity Aluminum", *Journal of Department of Mechanical Engineering University of Malaya*, 2002 (23 -> 20)
21. Liu, Y., dkk, "Effect of TMCP Parameters on Microstructure and Properties of Nb-Ti Microalloed Steel", *Iron and Steel Institute of Japan Intl.*, vol.45, issue 6, hal.851-857, 2005
22. Najafi, A., "Effect of Delay Time on Microstructural Evolution during Warm Rolling of Ti-Nb-IF Steel", *Journal Material Science and Technology*, vol.20, issue 1, 2004
23. Edwin Scott, Jr, *ASA Materials Markket Digest*, hal.1-6, 2009 (26 -> 23)
24. Suryadi, Suryadi, R.A.M Napitupulu, Dedi Priadi, Amin Suhadi, E.S. Siradjh, "Effect of Equa Channel Angular Pressing and Post Heating on Microstructure and Hardness of Cu-Zn 70-30," *Journal of Advanced Material Research.*, vol.789. hal.373-378, 2013 (27 -> 24)



## **PROSES PEMBUATAN DAN PENGUJIAN BENDA UJI KERAMIK UNTUK BAHAN BAKU ISOLATOR LISTRIK KERAMIK PORSELEN**

## **MANUFACTURING AND TESTING PROCESS OF CERAMIC SPECIMENS FOR RAW MATERIALS OF ELECTRICAL ISOLATOR PORCELAIN CERAMIC**

**Wahyu Garinas**

Peneliti Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Mineral (PTPSM )  
Deputi TPSA – Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)  
Gedung Geostech 820, Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, Banten, 15314  
wahyugarinas@bppt.go.id

### **Abstrak**

Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan mencari bahan baku untuk pembuatan isolator keramik porselen. Bahan baku untuk pembuatan benda uji keramik sebagian besar menggunakan bahan baku lokal. Proses pengolahan bahan baku pada penelitian ini : pembuatan komposisi, pengolahan bahan dan pembuatan benda uji. Metode yang akan dilakukan dalam pengolahan ini yaitu proses pemisahan dengan cara basah dan kering. Untuk mengetahui kualitas kelistrikan dari bahan baku keramik maka dibuat benda uji dan dilakukan uji tegangan tembus listrik. Hasil uji terhadap benda uji ternyata semua benda uji masih belum memenuhi standar IEC maupun ASTM. Nilai hasil uji terhadap sampel sekitar (7,99 - 9,35) kV/mm dan semua sampel belum memenuhi standar yang direkomendasikan oleh PLN (9,85 kV/mm). Hasil uji tersebut menunjukkan bahwa sampel no. 5 dan 6 yang mendekati standar dari PLN. Perlu evaluasi terhadap komposisi, bahan dan proses pembuatan dari benda uji keramik.

Kata Kunci : Bahan mentah keramik (kaolin, felspar, ball clay, kuarsa), pengujian benda uji, pengujian tegangan tembus, kualitas bahan keramik.

### **Abstract**

This study is part of the looking for raw materials for the manufacture of ceramic porcelain insulators. The raw material for the manufacture of ceramic test specimens mostly using local raw materials. The processing of the raw material in this study: preparing a composition, materials processing and manufacturing of the test object. The method will be done in this processing is the separation process by means of wet and dry. To know the the quality of the electrical ceramic raw materials then created of the test specimen and test the electrical Puncture Voltage. The test results of the test specimen it turns out all specimens still does not meet PLN (IEC and ASTM) standards. Value test results on samples approximately (7.99 to 9.35) kV / mm and all samples do not meet the standards recommended by PLN. The test results showed that the samples no. 5 and 6 are closer to a standard of PLN. Needs to be evaluation of the composition, materials and manufacturing process of ceramic test specimen.

*Keywords : raw material ceramic, specimens test, puncture voltage test, ceramic material quality.*

Diterima (received) : 10 September 2016, Direvisi (Revised) : 25 Oktober 2016,  
Disetujui (Accepted) : 25 November 2016

## PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan listrik pada saat ini tentunya akan menambah penggunaan yang berhubungan dengan peralatan listrik. Banyak sekali bahan penunjang dan peralatan kelistrikan yang dibutuhkan. Banyak sekali jenis

dan bahan serta kelengkapan yang digunakan dalam sektor industri listrik. Bahan pendukung dan kelengkapan industri kelistrikan yang menunjang dan digunakan cukup banyak misalnya isolator listrik. Salah satu jenis isolator listrik yang banyak sekali digunakan adalah isolator listrik keramik. Walaupun kita ketahui bahwa isolator listrik banyak jenis bahan bakunya seperti isolator gelas, polimer dan lain sebagainya.

Produksi isolator keramik listrik khusus digunakan untuk tegangan tinggi cukup sulit untuk mengetahui secara tepat demikian pula kebutuhannya. Dengan mendapatkan data jumlah jaringan dan kebutuhan isolator pada suatu jaringan tentunya kita akan memperoleh data perkiraan isolator terpasang dan pemakaiannya kedepan. Berdasarkan perhitungan secara umum maka sudah jutaan isolator listrik terpasang yang meliputi semua jenis isolator seperti rendah dan tinggi. Meningkatnya kebutuhan penggunaan listrik setiap tahun maka penggunaan isolator listrik akan naik signifikan sesuai dengan pembangunan kelistrikan di Indonesia. Data dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) bahwa elektrifikasi (daerah yang teraliri listrik) tahun 2010 yang baru mencapai 67 persen, rasio elektrifikasi nasional telah naik 20 persen. Menurut PLN, Dalam 5 tahun ke depan kebutuhan listrik akan tumbuh sebesar rata-rata 8,7 persen per tahun dan target rasio elektrifikasi sebesar 95 persen pada akhir tahun 2019. 1)

Isolator listrik adalah bahan yang tidak bisa atau sulit melakukan perpindahan muatan listrik. Bahan-bahan ini dipergunakan dalam alat-alat elektronika sebagai isolator, atau penghambat mengalirnya arus listrik. Isolator berguna pula sebagai penopang beban atau pemisah antara konduktor tanpa membuat adanya arus mengalir ke luar atau antara konduktor. Istilah ini juga dipergunakan untuk menamai alat yang digunakan untuk menyangga kabel transmisi listrik pada tiang listrik.

Berdasarkan data potensi kebutuhan dan rencana pembangunan kelistrikan tersebut tentunya penggunaan bahan aksesoris kelistrikan seperti isolator akan tetap dibutuhkan nantinya. Peluang untuk

mengoptimalkan aksesoris kelistrikan seperti isolator listrik terutama jenis keramik produksi dalam negeri menjadi lebih besar dan menjadi prioritas.

Penggunaan bahan keramik untuk isolator listrik sudah dikenal sejak lama dan banyak pabrik telah didirikan. Selama ini kita tidak banyak yang tahu besar produksi penggunaan isolator listrik keramik terutama yang digunakan untuk tegangan tinggi. Apalagi produk isolator keramik dengan bahan baku berasal dari dalam negeri selama ini belum ada data yang dapat meyakinkan kita.

Bahan baku dalam negeri untuk keramik seperti kaolin, ball clay, felspar dan kuarsa yang melimpah merupakan modal awal untuk mengoptimalkan pemanfaatannya. Hal ini merupakan bagian awal dari rangkaian panjang penelitian bahan keramik dalam negeri untuk bahan isolator listrik keramik

Bahan baku keramik yang digunakan dalam penelitian ini terpilih dari berasal dalam negeri dan menggunakan peralatan dan metode pengolahan bahan umum biasa digunakan pada industri keramik. Teknologi pengolahan yang digunakan merupakan teknologi umum dalam pembuatan keramik dan sering dipakai. Ada beberapa inovasi dalam pengolahan bahan terutama dalam memperbaiki kualitas bahan baku. Misalnya dalam proses pengolahan bahan mentah ditambahkan peralatan penangkap material mengandung logam dengan saringan magnet dan memperketat pengawasan bahan serta proses pencampuran. Penggunaan saringan magnet ditujukan agar kandungan logam pada bahan mentah akan dapat diminimalisir. Selanjutnya dilakukan proses pengolahan basah, pencampuran bahan uji dan Tahapan akhir membuat serta mencetak dimensi benda uji sesuai kebutuhan penelitian laboratorium kemudian dikeringkan untuk siap proses pembakaran.

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan data kualitas benda uji keramik dari pengujian kuat tembus listrik dengan standar badan isolator keramik. Secara tidak langsung akan diketahui juga kualitas juga bahan baku keramik, komposisi, teknologi proses.

Oleh karena itu tahapan awal bahan baku keramik yang akan diolah perlu upaya perbaikan kualitasnya. Untuk memberikan gambaran kualitas isolator yang akan dibuat maka komposisi yang dibuat disesuaikan dengan kekuatan badan isolator keramik. Untuk itu maka dalam penelitian ini dibuatlah benda uji keramik. Berdasarkan ketersediaan



alat uji kelistrikan dan standar yang ada maka bentuk benda uji yang sepakati adalah bentuk silinder dan ketebalan yang bervariasi.

Benda uji badan keramik yang dibuat akan diuji yaitu dengan peralatan uji tegangan tembus listrik. Dengan pengujian ini diharapkan dapat mengetahui kekuatan badan keramik (kaolin, ball clay, felspar, kuarsa dan alumina) dengan komposisi yang dibuat terhadap kekuatan tembus aliran listrik tegangan tinggi. Bentuk benda uji dan cara pengujian yang direncanakan sesuai dengan hasil diskusi dengan Perusahaan Listrik Negara (PLN) sesuai dengan kebutuhan standar uji di laboratorium PLN. Adapun standar uji yang dipersyaratkan PLN yaitu berdasarkan standar International Electrotechnical Commission (IEC) dan atau American Standard Test Method (ASTM).

Hasil penelitian terhadap sampel memperlihatkan bahwa benda uji yang dibuat masih belum memenuhi standar dan kesepakatan yang dipersyaratkan oleh PLN. Untuk itu masih diperlukan variasi komposisi, proses pengolahan dan pemilihan lokasi bahan baku yang tepat untuk penelitian.

## BAHAN DAN METODE

Keramik memiliki karakteristik yang memungkinkannya digunakan untuk berbagai aplikasi termasuk. Sifat-sifat keramik umumnya seperti : sifat mekanik, sifat thermal, sifat elektrik, sifat optik, sifat kimia, sifat fisik dan sifatnya dapat magnetik dan non-magnetik <sup>2)</sup>.

Sifat-sifat seperti kekerasan dan ketahanan panas dan listrik secara signifikan lebih tinggi keramik dari pada logam. Ukuran butir mempunyai pengaruh besar terhadap kekuatan dan sifat-sifat keramik; ukuran butir yang halus (dikatakan keramik halus), semakin tinggi kekuatan dan ketangguhannya <sup>3)</sup>.

Keramik memiliki karakteristik yang memungkinkannya digunakan untuk berbagai aplikasi termasuk :

- ) Kapasitas panas yang baik dan konduktivitas panas yang rendah.
- ) Tahan korosi.
- ) Sifat listriknya dapat insulator, semikonduktor, konduktor bahkan superkonduktor
- ) Sifatnya dapat magnetik dan non-magnetik
- ) Keras dan kuat, namun rapuh.<sup>4)</sup>

Metode atau pendekatan yang dilakukan dalam pelaksanaan kajian ini adalah dengan melakukan

:  
1. Studi pendahuluan meliputi : pengumpulan data dari berbagai literatur, jurnal, artikel-artikel, standar pengujian dan data yang dipublikasi oleh lembaga perguruan tinggi atau institusi terkait misalnya Kementerian / Dinas Energi Sumberdaya Mineral, Balai Besar Keramik Bandung - Kementerian Perindustrian, Badan Pusat Statistik dan lain-lain.

2. Pembuatan dan pengolahan bahan baku untuk pembuatan benda uji bahan keramik isolator. Kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain dengan persiapan bahan baku dan melakukan proses pengolahan dan pembuatan benda uji.

Persiapan bahan dimulai dengan pemilihan bahan keramik (kaolin, felspar, ball clay, kuarsa, alumina) kemudian menentukan komposisi bahan uji dengan pertimbangan sifat, kualitas yang selama ini diketahui. Pada tahapan ini komposisi badan (bodi) benda uji yang akan diteliti yaitu bodi keramik alumina.

Bahan baku dari lokal seperti kaolin berasal dari lokasi di Pulau Bangka dan Belitung, ball clay yang digunakan berasal dari Kalimantan, felspar dari Sumatera Utara. Pada penelitian ini bahan baku yang masih diimpor adalah alumina. Benda uji yang dibuat terdiri atas beragam komposisi dan berbagai macam bentuk yang berbeda.

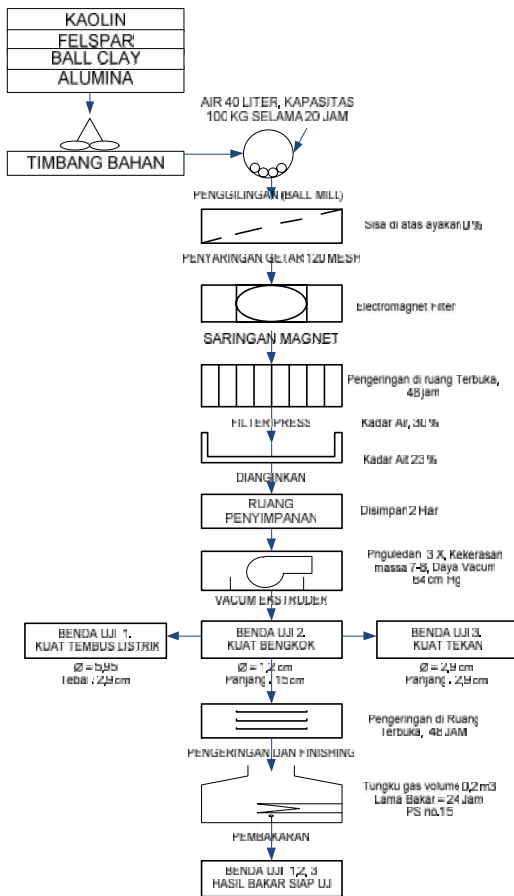
Proses pengolahan bahan ini dilakukan untuk membuang mineral pengganggu seperti mineral pengotor yang ada di bahan baku keramik.

Tahapan pengolahan bahan mentah meliputi <sup>5)</sup> :

- Pemilihan bahan dan penimbangan bahan mentah keramik.
- Dimasukkan dalam Penggiling.
- Tambahkan air sehingga membentuk suspensi dengan 30-40 % kadar padatan.
- Diaduk hingga rata sehingga bahan tepung menjadi suspensi.
- Disaring secara basah dengan ayakan 100 mesh untuk menyaring kotoran dan bahan organik.
- Disaring dengan saringan magnet yaitu magnetik ferro filter.
- Massa suspensi kemudian diendapkan.
- Pengeringan bahan keramik terolah selama 24 jam.
- Bahan keramik terolah di padatkan dengan filter press.

- Pencetakan benda Uji sesuai dengan kebutuhan pengujian (kuat tembus, kuat tekan dan kuat lentur (bengkok) .
- Benda uji dikeringkan.
- Proses akhir benda uji untuk pengujian kelistrikan (kuat tembus) dibakar.

Metode dipilih dalam pengolahan bahan keramik yaitu menggunakan proses pemisahan dengan cara basah dan kering. Bagan alir pengolahan bahan mentah keramik seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Proses Pembuatan Benda Uji Bahan Keramik Listrik. <sup>5)</sup>

Untuk keperluan uji kelistrikan maka telah direncanakan untuk membuat benda uji yang dengan diameter lingkaran sekitar 30 – 40 mm dan ketebalan 6 sampai 7 mm. Dimensi benda uji hasil proses pengolahan bahan sesuai dengan yang direncanakan seperti pada gambar 2, berikut.



Gambar 2. Bentuk dan Dimensi Benda uji Bahan Baku Isolator Keramik<sup>5)</sup>.

3. Pengujian tegangan tembus kelistrikan untuk benda uji dilakukan dengan bekerjasama dengan Pusat Penyelidikan Masalah Kelistrikan (PPMK – PLN). Jenis tegangan yang diuji pada suatu peralatan tergantung tegangan kerja peralatan dan jenis tegangan lebih yang mungkin dipikul peralatan tersebut.

Prosedur pengujian tegangan tinggi tergantung pada kesepakatan antara produsen dan pemakai peralatan. Standar pengujian yang ada saat ini antara lain adalah : International Electrotechnical Commission (IEC), JIS (Jepang), VDE (Jerman), ASTM (Amerika Serikat) dan lain sebagainya.

Peralatan yang dibutuhkan untuk pengujian tegangan tinggi adalah : <sup>4)</sup>

1) Pembangkitan tegangan tinggi yang terdiri atas : pembangkit tegangan tinggi AC, pembangkit tegangan tinggi DC, dan pembangkit tegangan tinggi impuls.

2) Alat ukur tegangan tinggi yang terdiri atas alat ukur tegangan tinggi DC, alat ukur tegangan tinggi AC, dan alat ukur tegangan tinggi impuls.

3) Alat pengukur sifat listrik dielektrik, antara lain alat ukur rugi – rugi dielektrik, alat ukur tahanan isolasi, alat ukur konduktivitas, dan alat ukur peluahan parsial.

Pengujian tegangan tinggi dibutuhkan untuk <sup>5)</sup>

a) Untuk meneliti sifat – sifat listrik dielektrik yang baru ditemukan, sebagai usaha dalam menemukan bahan isolasi yang lebih murah.

- b) Untuk verifikasi hasil rancangan isolasi baru, yaitu hasil rancangan yang telah dikurangi volume isolasinya.
- c) Untuk memeriksa kualitas peralatan sebelum dipasang, hal ini dilakukan untuk menghindari kerugian bagi pemakai peralatan.

- d) Untuk memeriksa kualitas peralatan setelah beroperasi dalam rangka mengurangi kerugian semasa pemeliharaan.

Pengujian tegangan tinggi dapat dikelompokkan berdasarkan dengan pengujian terhadap benda uji, yaitu :<sup>6)</sup>

- 1) Pengujian tidak merusak , meliputi :
  - (a) Pengukuran tahanan isolasi. Pengujian dengan tegangan tinggi searah dilakukan hanya pada peralatan peralatan yang mempunyai kapasitansi besar.
  - (b) Pengukuran faktor rugi – rugi dielektrik.
  - (c) Pengukuran korona.
  - (d) Pemetaan medan elektrik.

- 2) Pengujian bersifat merusak, yaitu :
  - (a) Pengujian ketahanan (Withstand Test)
  - (b) Pengujian peluahan ( Discharge Test)
  - (c) Pengujian kegagalan (Breakdown Test)

Ada tiga metode dalam memberikan tegangan pengujian berdasarkan American Standard Test Method (ASTM D-149) :

1. **Metode A** : Pengujian Waktu Singkat (Short Time Test).

Pada metode pengujian waktu singkat, dielektrik diuji dengan tegangan yang naik secara bertahap mulai dari nol, lalu naik dengan kecepatan tertentu, misalkan 100V/s hingga terjadi tembus listrik pada bahan dielektrik. Waktu yang dibutuhkan hingga terjadinya tembus listrik haruslah antara 10 sampai 20 sekon. Jika dengan kenaikan tegangan tembus listrik terjadi bukan pada interval waktu 10 – 20 sekon, dicari variasi kenaikan tegangan lain yang membuat tembus listrik dalam interval waktu tersebut.

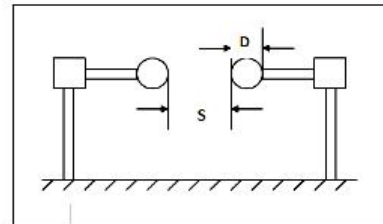
2. **Metode B** : Pengujian bertangga (Step-by-Step Test).

Tegangan pengujian dibuat seperti gambar dengan tegangan uji awal Nilai tegangan awal VS dipilih kurang lebih 50% dari perkiraan tegangan tembus atau hasil pengujian tegangan tembus waktu singkat yang telah dilakukan sebelumnya. Jika tegangan pengujian awal yang dipilih menyimpang dari nilai yang diberikan pada tabel, maka tingkat kenaikan tegangan dibuat sebesar 10% dari tegangan awal yang

dianjurkan VS, tetapi tetap pada tegangan awal yang dipilih.

3. **Metode C** : Pengujian kenaikan tegangan perlahan ( Slow Rate-of-Rise Test).

Tegangan uji awal VS yang diberikan pada benda uji diambil dari hasil pengujian waktu singkat. Lalu tegangan dinaikkan perlahan hingga terjadi tembus listrik, dengan syarat bahwa waktu tembus harus lebih dari 120 sekon. Apabila lebih dari satu spesimen dielektrik yang diuji mengalami tembus listrik pada waktu kurang dari 120 sekon, maka tegangan mula dikurangi atau variasi kenaikan tegangan diubah kedua – duanya.

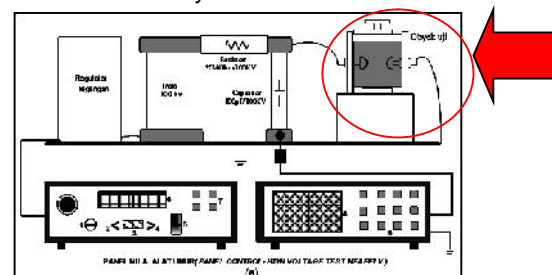


Gambar 3. Susunan Elektroda Bola Secara Horisontal.<sup>7)</sup>

Elektroda bola standar digunakan untuk mengukur tegangan tinggi bolak-balik, tegangan tinggi searah, dan tegangan tinggi impuls. Diameter elektroda bola terdiri atas beberapa ukuran standar, antara lain: 2 cm, 10 cm, 50 cm, bahkan ada yang berukuran sampai 200 cm.<sup>8)</sup>

Elektroda yang digunakan dalam pengujian terbuat dari kuningan, perunggu atau stainless stell. Panjang celah antara kedua elektroda adalah  $2,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$ . Tegangan uji dinaikkan dari nol dengan laju  $2,0 \text{ kV/s} \pm 0,2 \text{ kV/s}$  hingga terjadi tembus. Elektroda ini mempunyai diameter 40, 50, dan 60 mm dengan elektroda setengah bola diameter 50 mm disesuaikan standarisasi IEC 156 dan diameter lainnya sebagai pembanding<sup>9)</sup>.

Rangkaian pembangkitan tegangan AC ada gambar 4 adalah rangkaian yang digunakan untuk mengetahui uji tegangan tembus, tanda lingkaran tempat objek uji. Rangkaian ini digunakan pada media isolasi udara maupun media isolasi minyak trafo.



Gambar 4.  
Skema Pengujian Tegangan Tembus.<sup>10)</sup>

Untuk gambaran peralatan pengujian tegangan tembus yang digunakan menggunakan isolasi minyak dan dapat digambarkan seperti gambar 5 berikut.



Gambar 5.  
Peralatan Elektroda Bola Secara Horisontal.<sup>11)</sup>

Kekuatan Dielektrik berkaitan dengan sifat elektris dan sifat kimia suatu bahan isolasi, ada beberapa persiapan yang harus dipenuhi agar suatu bahan dapat dikategorikan atau diterima sebagai bahan isolasi. Diantara sifat-sifat yang ada kekuatan tegangan tembus suatu bahan isolasi menjadi sifat yang pertama kali diperhatikan. Tegangan tembus merupakan sebuah ukuran kekuatan bahan isolasi dalam menahan suatu beda tegangan<sup>12)</sup>.



Gambar 6.  
Peralatan Tegangan Tembus (*Dielectricum Test*)<sup>13)</sup>.

Pengujian tegangan tembus yang dilakukan PLN mengacu standar IEC 60156 dan ASTM D-1816 dan ASTM D-877. Elektrode yang digunakan dalam pengujian ini adalah elektrode bidang. Elektrode bidang ini digunakan pada pengujian isolasi udara

maupun minyak trafo. Elektrode bidang ini terbuat dari *stainless steel*. Elektrode untuk pengujian dibuat dari bahan alumunium yang berupa elektrode setengah bola, bola dan bidang.

Pada pengukuran dengan susunan elektroda bola secara horisontal, biasanya disusun dengan kedua bola simetris pada tegangan tinggi di atas permukaan tanah. Kedua bola yang digunakan harus memiliki bentuk dan ukuran yang identik. Bentuk susunan elektroda bola secara horisontal dapat ditunjukkan pada gambar 2. Susunan horisontal digunakan untuk diameter  $D < 50$  cm dengan rentang tegangan yang lebih rendah sedangkan untuk diameter yang lebih besar digunakan susunan vertikal yang mengukur besar tegangan terhadap bumi. Tegangan yang akan diukur dilewatkan antara kedua sela bola dan jarak atau sela  $S$  diantara kedua bola tersebut memberikan suatu ukuran dari besarnya tegangan tembus.

4. Tahapan metode selanjutnya yaitu melakukan pembahasan dan membuat kesimpulan dari hasil analisis penelitian.

5. Secara umum tujuan penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan data kualitas benda uji keramik dari pengujian kuat tembus listrik. Data ini merupakan bagian dari penelitian bahan mentah dalam negeri untuk bahan baku pembuatan isolator listrik keramik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Proses Pembentukan Dan Pembuatan Benda Uji Untuk Pengujian Kelistrikan.

Produk benda uji bahan keramik listrik porselen yang menjadi tujuan penelitian memerlukan bahan mentah yang sesuai atau memenuhi persyaratan sebagai jenis badan porselen. Peranan bahan mentah keramik dalam pembuatan produk badan keramik porselen perlu ditinjau dari dua langkah yaitu :

1) Bahan-bahan komposisi campuran perlu dibentuk menjadi badan porselen.

2) Bahan campuran dirubah menjadi porselen melalui pembakaran, sementara bentuk tetap dipertahankan.

Oleh karena itu bahan untuk pembuatan keramik jenis badan alumina porselen yang memerlukan syarat tertentu misalnya untuk kuat tekan, ketahanan listrik, maka bahan baku keramik (kaolin, felspar, kuarsa, ball clay) yang digunakan harus memenuhi kondisi antara lain :

- ) Bahan harus cocok untuk dapat mudah dibentuk.
- ) Bahan harus dapat memenuhi syarat misalnya kelistrikan dan mekanik.

Sesuai dengan kebutuhan standar sebagai benda uji maka proses pembuatannya telah melalui pemilihan bahan dan modifikasi peralatan. Dalam proses pengolahan ini dilakukan penambahan alat saringan magnet (*electromagnet filter*) yang berfungsi untuk menangkap material pengotor yang mengandung logam. Diharapkan dengan alat ini proses pengolahan dan pencampuran bahan nantinya akan dapat diminimalisir bahan mentah keramik yang mengandung logam. Kandungan logam dalam bahan baku keramik tentunya akan diketahui dari hasil pengujian laboratorium lainnya.

**Hasil Pengujian Tegangan Tembus (*Functure Voltage*) Benda uji Isolator Listrik Porselen Alumina.**

Sesuai dengan tujuan penelitian yang telah direncanakan maka benda uji hasil proses pengolahan selanjutnya siap untuk di uji ketahanan listriknya dengan uji tegangan tembus (*Functure Voltage*). Penentuan dimensi benda uji masih belum sempurna mengingat berdasarkan standar IEC atau literatur lainnya banyak bentuk benda uji. Untuk mempermudah pengujian maka dimensi benda uji pada penelitian ini disepakati bentuk silinder.

Jumlah benda uji yang akan diuji sesuai dengan lokasi asal bahan baku kaolin yang berasal dari 15 lokasi di Pulau Bangka dan Belitung. Masing-masing lokasi dibuat 10 buah benda uji sehingga dalam penelitian ini jumlah benda uji sekitar 150 benda uji. Hasil pengujian untuk setiap lokasi diambil rata-rata untuk : ketebalan (mm), tegangan tembus(kV) dan rata-rata tegangan tembus benda uji (kV/mm) seperti pada tabel 1.

Tabel 1.  
Hasil Rata-Rata Tegangan Tembus Benda Uji Bahan Isolator Listrik Keramik.<sup>14)</sup>

Tanda Sampel	Tebal (Mm) Rata-Rata	Tegangan Tembus (kV) Rata-Rata	Tegangan Tembus (kV/Mm) Rata-Rata
A	6,85 ± 0,25	60,80	8,94
1	7,05 ±0,29	61,70	8,88
2	6,93 ± 0,44	57,90	8,58
3	6,86 ± 0,50	56,10	8,77
4	6,85 ± 0,40	52,40	8,19
5	7,04 ± 0,42	63,60	9,09
6	6,83 ± 0,42	58,90	9,35
8	6,73 ± 0,18	57,50	8,46
9	6,75 ± 0,40	56,40	8,61
11	7,43 ±	60,70	7,99

0,19			
12	6,99 ± 0,23	57,70	8,49
13	7,16 ± 0,82	59,60	8,96
14	7,21 ± 0,42	55,30	8,38
15	7,01 ± 0,37	57,00	8,77
16	7,16 ± 0,26	63,30	8,38

Kekuatan dalam menahan tegangan tembus ini memperlihatkan kualitas dari proses pembuatan, bahan baku, komposisi dan parameter pengolahan bahan mineral yang ada untuk isolator. Selain itu hasil uji spesimen ini akan memberikan data kualitas badan keramik yang nantinya akan menjadi bahan baku untuk dibuat menjadi isolator listrik keramik dengan badan (bodi) alumina.

Hasil uji tegangan tembus dari benda uji bahan isolator listrik keramik sekitar ( 7,99 – 9,35) kV/mm. Nilai pengujian ini masih dibawah standar persyaratan yang ditentukan. Menurut PLN standar untuk memenuhi persyaratan bahan isolator listrik harus memiliki nilai uji tembus listrik sekitar 9,85 kV/mm.

Dengan demikian hasil pengujian terhadap benda uji (spesimen) di atas ternyata semua sampel spesimen dengan komposisi yang ada belum semuanya memenuhi kriteria dan ketentuan standar yang ada.

**SIMPULAN**

Penelitian ini merupakan salah satu bagian dari pengujian bahan baku dalam negeri untuk pembuatan isolator listrik keramik. Untuk mendapatkan kualitas badan (bodi) keramik tahap awal maka dilakukan proses pembuatan komposisi badan keramik. Untuk kebutuhan pengujian dan mengacu kepada standar maka dibuatlah benda uji (spesimen). Bentuk spesimen yang direncanakan yaitu berbentuk silinder dengan ketebalan rata-rata 6 – 7 mm dan diameter sekitar 30 – 40 mm. Dengan peralatan dan acuan dari standar uji laboratorium PLN maka dilakukan pengujian kuat tembus listrik. Uji ini merupakan bagian data awal sebagai bagian dari referensi untuk penelitian kekuatan tembus listrik pada badan isolator listrik yang akan dibuat sesungguhnya. Hasil uji kuat tembus listrik menunjukkan besarnya kekuatan spesimen dalam menahan tegangan tembus listrik yang dialirkan ke spesimen.

Hasil pengujian tegangan tembus (kuat tembus) listrik sekitar 150 jumlah spesimen yang dibuat dari campuran bahan utama keramik (kaolin , felspar, ball clay, kuarsa)

sesuai dengan bahan baku dominan kaolin dari 15 lokasi di Pulau Belitung ternyata hanya beberapa sampel yaitu No. 5 (Tegangan tembus 9,09 kV/mm) dan No. 6 (Tegangan tembus 9,35 kV/mm) yang paling mendekati angka standar kriteria tegangan tembus listrik standar PLN (Tegangan Tembus 9,85 kV/mm). Mengacu standar tersebut maka perlu dilakukan evaluasi terhadap : bahan mentah dalam negeri untuk pembuatan keramik (kaolin, felspar, kuarsa dan ballclay), penentuan komposisi, pengolahan bahan baku dan proses pembentukan bahan uji untuk pengujian kuat tembus kelistrikan.

## SARAN

Secara umum proses persiapan bahan masih belum optimal terutama peralatan pengolahan dan saringan magnet. Untuk keperluan penelitian selanjutnya perlu meningkatkan kualitas bahan mentah keramik (kaolin, felspar, kuarsa dan ball clay) untuk bahan pembuatan isolator listrik keramik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Direktur Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Mineral BPPT, Bapak Ir. Safuan Yuliadi, MT.dkk., Balai Besar Keramik Bandung (BBK) atas bantuan untuk penelitian dan fasilitas pengujiannya dalam membantu penyelesaian pekerjaan pembuatan benda uji keramik untuk bahan isolator Fuse Cut Out bodi keramik porselen.

## DAFTAR PUSTAKA

1. <http://www.suara.com/bisnis/2015/10/27/141531/rasio-elektrifikasi-indonesia-jelang-akhir-2015-capai-87-persen> diakses tanggal 23 Maret 2016.
2. ...., <https://figrotul.wordpress.com/2011/12/14/karakteristik-struktur-dan-sifat-keramik/> diakses tanggal 23 Maret 2015.
3. ...., <http://www.kimianet.lipi.go.id/utama.cgi?artikel&1100398016&2> diakses tanggal 5 April 2016.
4. Dermawan, T., Pengaruh Komposisi Resin Terhadap Sifat Elektrik Dan Mekanik Untuk Bahan Isolator Tegangan Tinggi, Prosiding, STTN, Yogyakarta, 2012.
5. Kurniady, P., Studi Tegangan Flashover Isolator Berbahan Polimer Epoksi, Tugas Akhir, Jurusan Elektro FT. Universitas Hasanuddin, Makassar, 2014.
6. Abdul, S., Perbandingan Tegangan Tembus Media Isolasi Udara Dan Media Isolasi Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Bidang-Bidang, Jurusan Teknik Elektro, F.T., Universitas Diponegoro, Semarang, 2012.
7. Dermawan, T., Pengaruh Komposisi Resin Terhadap Sifat Elektrik Dan Mekanik Untuk Bahan Isolator Tegangan Tinggi, Prosiding, STTN, Yogyakarta, 2012.
8. Suyanto, M., Karakteristik Pengujian Minyak Nabati Sebagai Alternatif Isolasi Pengganti Minyak Transformator Distribusi 20 KV, Prosiding Seminar, AKPRIND, Yogyakarta, 2014.
9. Krismiandaru, E, Syakur, A., Facta., M Uji Tegangan Tembus Arus Bolak-Balik Pada Minyak Jarak Sebagai Alternatif Isolasi Cair, Universitas Diponegoro, Tugas Akhir, Semarang, 2013.
10. Zikra, R., Laporan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro FPTK, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, 2014.
11. Abdul, S., Uji Tegangan Tembus Arus Bolak-Balik Pada Minyak Jarak sebagai Alternatif Isolasi Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2006.
12. ...., <http://ilmulistrik.com/pengujian-tegangan-tembus-minyak-isolasi-trafo.html> diakses tanggal 6 April 2016.
13. PLN Pusdiklat, Instrumen dan Pengukuran Listrik, PLN Pusdiklat Duren Tiga, Jakarta, 2010.
14. BPPT-RISTEK, Laporan Pemanfaatan Mineral Lokal Untuk Pembuatan Isolator Fuse Cut Out (FCO) – 2008, TPSM-BPPT, Jakarta, 2008.

## FENOMENA TERJADINYA KERUSAKAN PADA MATERIAL BATANG PISTON

### THE PHENOMENON OF DAMAGE TO THE PISTON ROD MATERIAL

**M. N. Setia Nusa**

Peneliti Bidang Pengujian Material  
Balai Besar Teknologi Kekuatan dan Struktur-BPP Teknologi  
e-mail: setia.nusa@bppt.go.id

#### **Abstrak**

Terjadi kerusakan dan pecah pada area *bushing* dan patah pada batang *connecting rod*. Dilakukan penelitian untuk mengetahui penyebab kerusakan tersebut dengan metode *fractography*, *metalography*, uji kekerasan dan uji komposisi kimia dan secara visual. Ditemukan indikasi kerusakan berawal pada daerah *bushing* dengan awal retak (*initial crack*) dan penjalaran retak (*crack propagation*) juga beberapa retak rambut, ini bentuk patah fatik dan menyebabkan patah pada batang *connecting rod* dengan ciri patah ulet (*ductile fracture*). Patah fatik akibat dari benturan halus yang berlangsung beberapa lama akibat dari rongga *bushing* yang longgar karena kurangnya pelumasan atau pelumasan yang kurang sempurna.

Kata kunci :Connecting Rod – Pelumasan – Longgar – Retak – Pecah

#### **Abstract**

*An investigation is conducted to find the cause of failure on the con rod by methods of fractography, metallography, hardness test, chemical composition and visual examination. It is found an indication that the failure is initiated at bushing area with an initial crack and crack propagation and also same microcrack, formed as fatigue fracture, causing fracture of connecting rod with a characteristic of ductile fracture. Fatigue fracture is caused by soft impact that lasting for long time due to gap existence in the bushing caused by lack of lubrication or imperfect lubrication.*

*Keyword :Connecting Rod – Lubrication – Gap – Crack – Failure.*

Diterima (received) : 1 April 2016, Direvisi (Revised) : 12 Oktober 2016, Disetujui (Accepted) : 28 November 2016

#### **PENDAHULUAN**

Penelitian dilakukan pada batang piston atau *connecting rod*, karena beberapa kali kejadian atau rusaknya batang piston ini pada saat kendaraan beroperasi, *connecting rod* ini adalah bagian dari *Crankshaft* atau poros engkol biasanya mekanik juga menyebutnya kruk as, bagian pada mesin yang mengubah gerak vertikal/horizontal dari piston menjadi gerak rotasi (putaran) <sup>10</sup>. Sebagai batang penyambung adalah *connecting rod* atau *con rod* berfungsi untuk memindahkan gaya yang mendorong piston, dan piston memindahkan tekanan hasil

pembakaran campuran bahan bakar dan udara melalui *con rod* ke *crankshaft*. Biasanya piston-piston dilengkapi dengan tiga ring di sekelilingnya. Dua ring utama adalah ring kompresi. Ring tersebut menyekat celah diantara piston dan dinding silinder. ring tersebut dirancang untuk mencegah agar gas bertekanan tinggi dari proses pembakaran mengalir melewati piston. Ring ketiga pada piston adalah ring oli yang berfungsi untuk mencegah oli pelumas pada dinding-dinding silinder masuk ke ruang pembakaran<sup>1</sup>. Ring piston yang telah aus di kendaraan seringkali dapat terdeteksi melalui emisi gas buang yang



berasap. Permasalahan yang timbul yaitu pada posisi tempat bearing yang kecil area bushing terjadi kerusakan/ pecah akibat terjadinya benturan halus beberapa lama dan gesekan sampai patah fatik dan berdampak pada patahnya batang *connecting rod*<sup>6]</sup>. Material *Connecting Rod* yang digunakan dengan spesifikasi JIS G 4106 class S Mn 433.

Kerusakan terhadap permukaan dari patahan/ fracture mengungkapkan bahwa penyebab kegagalan adalah beban dan retak yang terlebih dahulu dimulai dari bagian atas batang piston, titik inisiasi keretakan berada dibagian dasar kelima dari ujung peretaka<sup>2]</sup>.

Sesuai dengan fungsi piston, maka piston harus mempunyai beberapa persyaratan yaitu:

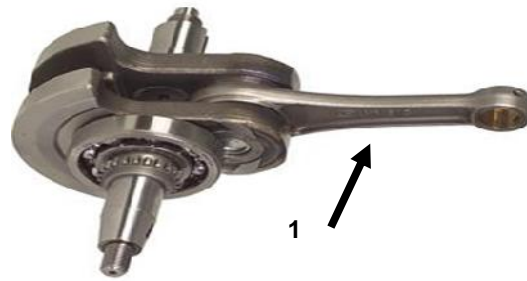
- Tahan terhadap tekanan dan temperatur yang tinggi terutama pada bagian puncaknya yang terkena tekanan yang besar saat piston melakukan kerja.
- Mempunyai berat jenis yang rendah, sehingga bobot piston menjadi ringan pada saat bekerja.
- Harus mempunyai koefisien muai yang rendah.
- Tahan terhadap kerusakan akibat gesekan, tidak bersifat korosif serta abrasif.

Oleh karena itu dengan dilakukannya penelitian ini dan ditemukannya penyebab terjadinya kerusakan pada connecting rod atau batang piston tersebut, tentunya dapat dijadikan acuan untuk mencegah terjadinya kerusakan yang sama pada produk yang akan datang dan sekaligus meningkatkan kualitas pada produk.

## BAHAN DAN METODE

Adapun bahan dan data-data teknis dari *connecting rod* adalah sebagai berikut :

No	Komponen	
1	Component	Connecting Rod
2	Model	3516 TA
3	Serial Number	025Z04601
4	Problem Date	9 Dec 2012
5	HM Problem	90285
6	Installed Date	21 Jun 2010
7	HM Installed	74077
8	Component Life	16208 Hrs



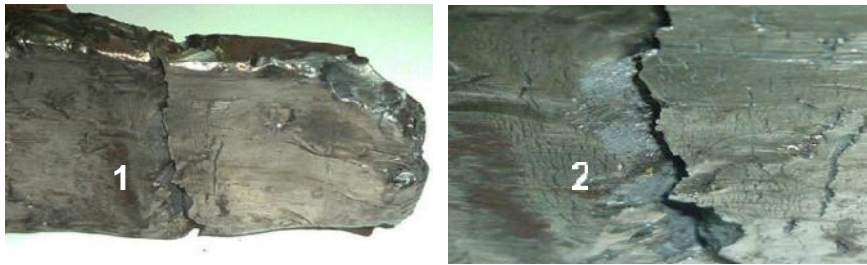
**Gambar 1.**  
Rangkaian Connecting Rod



**Gambar 2.**  
Connecting Rod yang di analisis pada bushing (A) dan batang piston (B).

Pada gambar 1 merupakan connecting rod secara utuh dalam kondisi terpasang dengan rangkaian sistem kerjanya, sedangkan pada gambar 2 merupakan connecting rod yang mengalami kerusakan dan yang menjadi bahan dalam analisis kerusakannya, terjadi kerusakan pada bushing (gambar 2 A) dan kerusakan pada batang piston pada gambar 2 B.



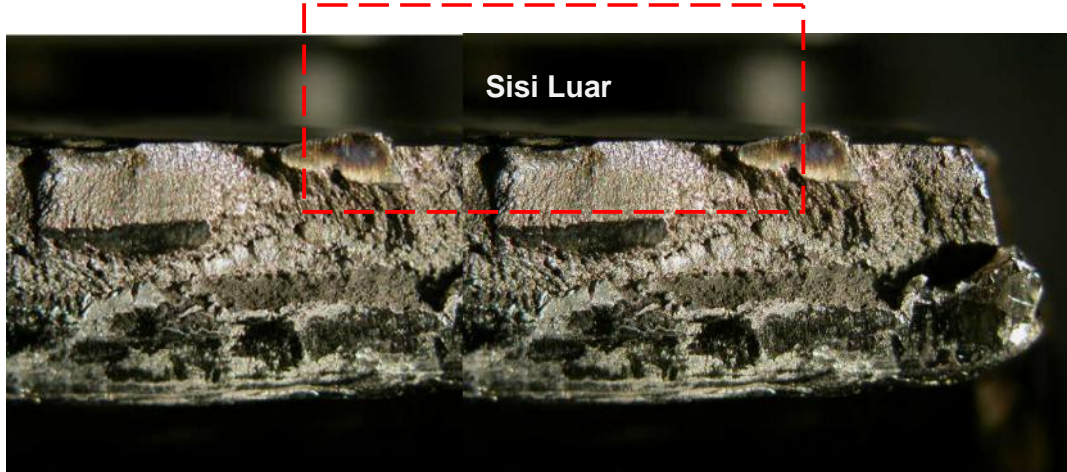


**Gambar 3.**

Patahan pada *bushing* no.1 & 2 merupakan patah akibat benturan yang berulang hingga menimbulkan adanya retak-retak sebelum patah

Pada gambar 3 sub gambar 1 dan sub gambar 2 memperlihatkan kerusakan yang terjadi pada daerah *bushing*, merupakan patah akibat dari benturan yang berulang-ulang sehingga menimbulkan retak-retak sebelum patah. Sedangkan pada gambar 4

menunjukkan ciri patahan dari *bushing* yang memperlihatkan indikasi radial mark patah fatik pada permukaan patahannya seperti yang terlihat pada pola patah pada gambar 11.



**Gambar 4.**

Permukaan patahan pada *bushing* yang memperlihatkan adanya radial mark patah fatik.

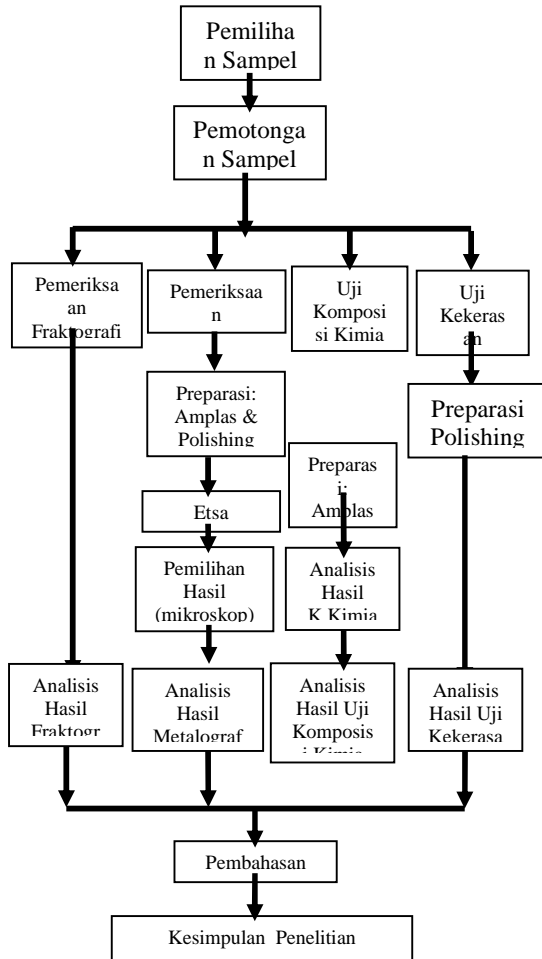
#### **Pemeriksaan Visual dan makro fractografi**

Pemeriksaan visual dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik kerusakan dan menentukan daerah awal penyebab kerusakan yang nantinya dipilih untuk pemeriksaan lebih mendalam, metode pemeriksaan visual ini dilakukan dengan mengamati kondisi area yang rusak secara cermat dan didokumentasikan dengan gambar menggunakan kamera.

Sedangkan pemeriksaan makrografi menggunakan mikroskop stereo untuk mengidentifikasi awal kerusakan di permukaan daerah yang rusak, sehingga area tersebut dapat diamati pada perbesaran yang lebih besar dibandingkan pemeriksaan visual dan didapatkan informasi lebih jelas dengan perbesaran sampai dengan 25X. Pemeriksaan makrografi mengacu pada standard ASTM E 340-00.

#### **METODE**

Diagram tahapan penelitian yang dilakukan adalah seperti di bawah ini



Pemeriksaan metalografi merupakan suatu metode pemeriksaan yang dilakukan untuk mengamati struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik pada area yang rusak lebih detail dan dianggap mewakili serta area sekitarnya untuk dilakukan analisis kerusakan, pemeriksaan metalografi dilakukan juga untuk memeriksa kemungkinan adanya *void*, retak mikro, ataupun cacat mikro lainnya yang mungkin berpengaruh sebagai penyebab kerusakandan pecahnya kebocoran *connecting rod*. Hasilnya lalu didokumentasikan dengan kamera digital. Persiapan benda uji metalografi mengacu pada standard ASTM E 3-01. Selanjutnya dilakukan proses mikro etsa sampel uji yang mengacu pada standard ASTM E 407-01 dimana larutan yang digunakan adalah Nital2%.

Uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui perbedaan nilai kekerasan di area yang dianggap normal dengan area sekitar patahan. Pengujian kekerasan dilakukan dengan alat Frank finotest dengan nilai kekerasan dalam skala *Vickers* dengan

metode yang digunakan indentasi *Vickers microhardness* mengacu pada ASTM E92.

Pengujian komposisi kimia material *Connecting rod* untuk mengetahui unsur yang digunakan apakah sesuai atau tidak dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Pemeriksaan komposisi kimia mengacu pada standard ASTM E 415-99a, dengan menggunakan *Metorex Arc-Met 930SP*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pemeriksaan Visual

Pada metal jalan sisi luar yang bersinggungan dengan *connecting rod* terdapat goresan-goresan cacat lokal /friction (gambar 6), sedangkan pada sisi dalamnya ditemukan perbesaan warna (gambar 5), kedua indikasi ini disebabkan oleh gesekan-gesekan kasar atau gesekan terjadi akibat pelumasan yang tidak sempurna<sup>[10]</sup>.



Gambar 5.

Cacat-cacat yang terdapat pada metal jalan crankshaft, terlihat perbesaan warna pada sisi dalam.



Gambar 6.

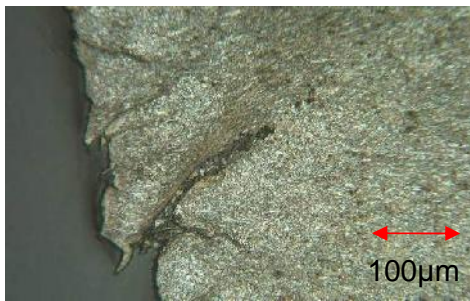
Sisi luar metal jalan yang bersinggungan dengan *connecting rod* mengalami cacat lokal (friction).

Pemeriksaan visual dan makrografi pada komponen *connecting rod* yang mengalami kerusakan menunjukkan bahwa kerusakan berawal pada area *bushing* dan ditemukan adanya radial mark patah fatik<sup>[5]</sup> (gambar 4), dan terlihat patah akibat benturan yang berulang hingga menimbulkan adanya retak-retak sebelum patah (gambar 3).

Bentuk patahan di area *bushing piston* ini diawali dari permukaan luar (*initial crack*) dan diikuti penjaralan retak ke arah permukaan dalam yang merupakan ciri patah statis (*static fracture*)<sup>[3]</sup>.

Untuk mengetahui penyebab kerusakan didapat dari beberapa faktor<sup>[11]</sup>:

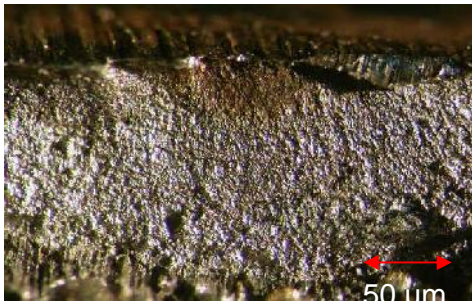
- Kekerasan batang torak dan pena engkol
- Kelonggaran antara batang engkol dan bantalan pena engkol, lebih dari batas yang ditentukan.
- Tegangan tinggi dilokasi yang kritis.
- Desain batang torak.
- Kelangkaan minyak pelumas di bidang luncur antar muka.



**Gambar 7.**

Cacat/retak patah sisa pada sisi luar, terlihat adanya deformasi struktur mikro akibat beban bentur.

**Pemeriksaan Mikrostruktur**



**Gambar 8.**

Patahan *bushing* yang memperlihatkan adanya *initial crack* dari daerah tengah dan ke tepi dan diteruskan patah *radial mark* secara bertahap.

Permukaan patahan pada batang piston terlihat pada gambar 4 merupakan indikasi dari patah akibat benturan. Sedangkan kerusakan yang terjadi berbentuk fatik dan terlihat alur patah *radial mark* seperti yang terlihat pada pola patah gambar 11 dengan struktur mikro berupa martensit halus (*massive martensite*) seperti yang terlihat pada Gambar 10<sup>[8]</sup> di sekitar permukaan luar patahan, juga terlihat adanya retak rambut (*micro crack*) dan deformasi plastik di area

patahan tidak terlihat cukup signifikan seperti yang terlihat pada Gambar 11, kecuali deformasi yang terjadi pada patahan di area batang. Komponen telah mengalami proses *heat treatment* karena struktur mikro yang terbentuk martensit halus<sup>[7]</sup>. Adanya proses treatment juga terlihat dari hasil uji kekerasan di beberapa area patahan yang cenderung cukup merata yaitu antara 302–367HV.

Pada gambar 9 struktur mikro sisi luar dan gambar 10 struktur mikro bagian dalam, dimana struktur mikronya adalah martensit pengaruh temperatur tinggi dan ditemukan retak-retak.



**Gambar 9.**

Struktur mikro *bushing* sisi luar, Etsa: Nital 2%



**Gambar 10.**

Struktur mikro martensit sisi dalam *bushing* ditemukan retak-retak (*secondary crack*). Etsa Nital 2%

Tabel 1.

Hasil Uji Komposisi Kimia Connecting Rod JIS G 4106 Class S Mn 433

Benda Uji	Hasil / Result		JIS G 4106 Class SMn 433
Kode	Unsur	Wt %	
C	Fe	97.74	
O	S	0.010	0.030
N	C	0.29	0.30 – 0.36
N	Si	0.28	0.15-0.35
E	Mn	1.38	1.20 – 1.50
C	Cr	0.11	
T	Ni	0.021	
I	Mo	0.030	
N	Cu	0.035	
G	Al	0.044	
R	V	0.0029	
O	Nb	0.0043	
D	Ti	0.044	

Hasil komposisi kimia pada tabel 1 memperlihatkan bahwa material connecting

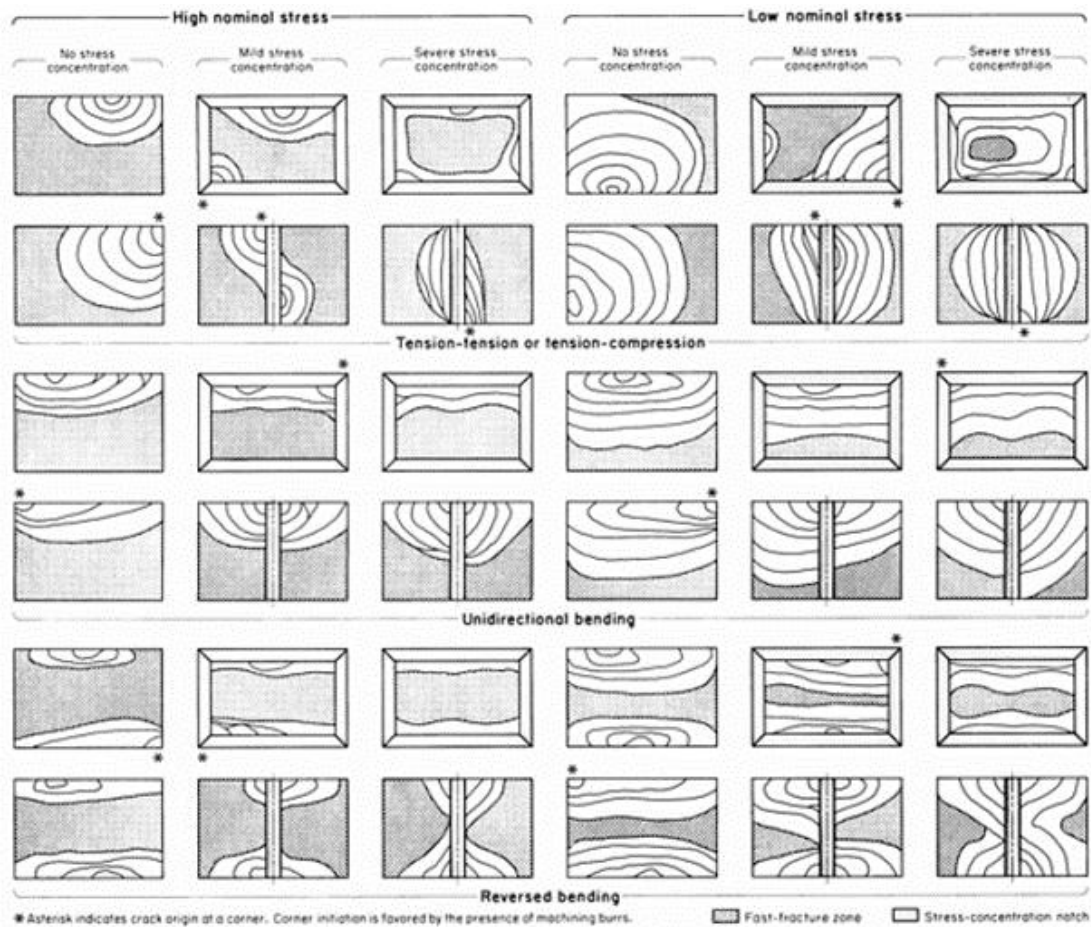


rod yang diperiksa ternyata sesuai dengan JIS G 4106 class SMn 433 dengan mengacu pada standard utama sulfur, carbon, silicon dan mangan yang kesemuanya masuk dalam standard material tersebut.

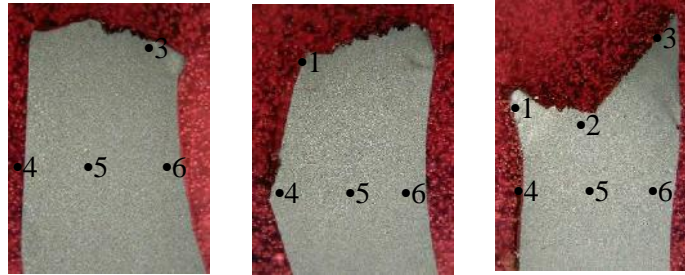
Tabel 2.  
Hasil Uji Kekerasan Connecting Rod

NO.	HARDNESS VALUE (HV)		
	Sampel	Sampel	Sampel
	no.1	no.2	no.3
1	313	353	367
2	321	341	229
3	341	328	345
4	302	345	313
5	328	336	336
6	332	345	328
Rata-rata	328	341	336

Hasil uji kekerasan connecting rod pada 3 sampel uji dan masing-masing sampel dilakukan 6 titik pengujian kekerasan terdapat pada gambar 12. Dari hasil pengujian diperoleh nilai kekerasan berkisar antara 229 sampai dengan 367 HV, hasil yang di rekomendasikan dalam standard uji pada JIS G 4106 class S Mn 433 tidak ada, namun dari hasil ini bisa diambil kesimpulan bahwa kekerasan yang ada saat ini cukup merata dan tidak ada nilai yang ekstrim sekali sehingga tidak perlu analisa khusus dari hasil uji kekerasan ini.



Gambar 11 .  
Pola permukaan patah lelah dari berbagai beban.



Gambar 12.  
Lokasi Uji Kekerasan (HV)

## PEMBAHASAN



Gambar 13.  
Patahan batang piston akibat benturan.

Dari hasil pemeriksaan komposisi kimia menunjukkan bahwa Material yang digunakan adalah JIS G 4106 Class SMn 433 (Tabel.1), sesuai dengan material yang direkomendasikan untuk *connecting rod* dan pemeriksaan secara visual dan metalografi didapat hasil struktur mikro martensit halus, juga terdapat retak rambut pada area patah fatik *bushing*<sup>[8]</sup>. Kerusakan berawal pada *connecting rod* di area *bushing* (gambar 4)<sup>[5]</sup>, dari bentuk permukaan patahan, patahan diawali dengan terbentuknya beberapa initial crack yang membuat menjadi retak fatik (perambatan retak) yang cukup luas dan hampir mencapai setengah dari penampang *connecting rod* di bagian *bushing* (gambar.4), dan ditemukan dua area perambatan patah lelah yang berbeda luas<sup>4]</sup>. Terjadinya patah lelah dengan indikasi tersebut disebabkan oleh spin ruang *bushing* yang berbenturan akibat keausan / gesekan yang cukup signifikan hingga membentuk jarak antara *bushing* dengan permukaan diameter dalamnya (longgar), keausan tersebut disebabkan oleh kurangnya pelumasan atau pelumasan (gambar 5 dan 6). Setelah retak merambat cukup besar dan penampang sisa tidak dapat menahan beban / load sehingga terjadi patahan akhir. Kegagalan tersebut diikuti oleh patah statik akibat benturan pada batang *connecting rod*. Bentuk patah lelah terlihat pada pengikat batang engkol dan menunjukkan indikasi yang

jelas bahwa adanya striasi “beach mark” patah lelah yang berawal dipuncak pada salah satu celah di sepanjang takikan ulir<sup>2]</sup>. Dari bentuk permukaan patahan merupakan ciri dari patah getas (*brittle fracture*) dan terlihat jelas bahwa retak/patah terjadi di mulai dari permukaan diameter luar menuju ke permukaan diameter dalam (gambar 4). Sedangkan, patahan di area batang *connecting rod* (gambar 8) merupakan ciri dari patah yang ulet (*ductile fracture*)<sup>5]</sup>. Dengan ditemukannya tahapan retak yaitu awal retak (*initial crack*) dan penjalaran retak (*crack propagation*), beberapa retak rambut (*micro crack*) di area *bushing* piston, maka indikasi kerusakan komponen *connecting rod* dimulai dari area *bushing* piston.<sup>10]</sup> Terjadinya kerusakan awal di area *bushing piston* diakibatkan permukaan diameter dalam mengalami keausan yang cukup signifikan hingga membentuk jarak antara *bushing* dengan permukaan diameter dalamnya (longgar). Adanya kelonggaran di area tersebut menimbulkan benturan-benturan antara *bushing* dengan permukaan diameter dalam sehingga menyebabkan retak-retakan di sekitar area benturan.

## SIMPULAN

Dari hasil pemeriksaan dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa kerusakan berawal pada metal jalan ditemukan goresan-goresan pada sisi luar dan pebesaran warna pada sisi dalam akibat dari kurangnya pelumasan, sehingga diameter dalam mengalami keausan dan menjadi longgar. Longgarnya diameter dalam akan menimbulkan benturan-benturan yang halus pada gerak piston di area *bushing*, sehingga menyebabkan retak-retakan di sekitar area benturan.

Pada *bushing* ditemukan indikasi awal retak (*initial crack*) dan penjalaran retak (*crack propagation*), beberapa retak rambut (*micro crack*)<sup>[7]</sup>, sedangkan pada patahnya

komponen *connecting rod*, berawal pada lokasi *bushing* berbentuk patah fatik yang berakibat patahnya *bushing* ini berdampak pada patahnya batang *connecting rod* yang merupakan patah ulet.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Rekan-rekan di B2TKS BPPT yang sangat membantu dalam kerjasama pengambilan data, terutama pengambilan data metalografi dan NDT yang tentunya menjadi kunci dalam penelitian dan analisa dari permasalahan ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Dhole Vassant J "Prof.R.Kharde, Prof.U.N.Gujar. "Fracture Split Connecting Rod for Automative Engines." International Journal of Engineering Research and Development vol 4, November 2012.
2. Shaharash Khare, O.P.Singh, K.Bapanna Dora, C.Sasun, "Spalling Investigation of Connecting Rod" Engineering Failure Analysis 19 – 2012
3. Ktari A, Hadar N, Ayedi HF, *Fatigue Fracture Expertiseof train engine crank shaft, Engineering Failure Analysis 2011.*
4. S.Griza, F.Bertoni, G.Zanon, A.Reguly, T.R. Strohaecker. "Fatigue in Engine Connecting Rod Due to Forming Laps". Engineering Failure Analysis 16 - 2009
5. 5 Engineering *Fatigue in engine connecting rod bolt due to forming laps.* 2009 S. Griza \*, F. Bertoni, G. Zanon, A. Reguly, T.R. Strohaecker
6. 6 Heintz P. Bloch Fred K Geitner, "Machinery Failure Analysis and
7. Troubleshooting" Gulf Publishing
8. Company, Houston. Texas 1997
9. 7 Roger Rabb "Fatigue Failure of a Connecting Rod" Engineering Failure Analysis vol 3 no 1, 1996
10. Mc Namara, J.F., O.Sullivan, Richard A. 1991. "Durability and Failure in
11. Engineering Materials". *Proceeding of the 5th Irish Fracture Conference.*
12. N. French, *Metallurgical failures in fossil fired boilers, tahun 1993 Second Edition.*
13. Arismunandar, Wiranto, Tsuda, Koichi. 1997. Motor Diesel Putaran Tinggi. Jakarta: PT Pradnya Pratama.
14. Boetarta, 2000. Mengatasi Mesin Kerusakan Diesel. Jakarta:
15. Puspa Swara Daryanto ,1994. Teknik Servis Mobil. Jakarta: Pt Reneka Cipta.
16. Dermana, danu.1999. Merawat dan Memperbaiki Motor Diesel. Jakarta: Puspa Swara.

## **PENGARUH PROSES HOT ROLLING DAN KANDUNGAN CERIUM PADA DAYA HANTAR LISTRIK PADUAN AlZrCe SEBAGAI MATRIK KOMPOSIT BERPENGUAT Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

### **EFFECT OF HOT ROLLING PROCESS AND CERIUM CONTENT ON ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF AlZrCe ALLOY FOR Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> REINFORCEMENT MATRIX COMPOSITE**

**Iwan Setyadi<sup>a</sup>, Suryadi<sup>a</sup>, Kirman<sup>b</sup>, Mirza Wibisono<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> Pusat Teknologi Material – BPPT,

Gedung Teknologi 224 Lantai 1 Kawasan Puspiptek Serpong-Tangerang

e-mail : i1setyadi2810@gmail.com, suryadi.chun@gmail.com, mirza\_w@yahoo.com

<sup>b</sup> B2TKS – BPPT, Gedung B2TKS, Kawasan Puspiptek Serpong-Tangerang

e-mail : kirmanmt@gmail.com

#### **Abstrak**

Sebagai upaya untuk mendapatkan material konduktor listrik, paduan aluminium-Cerium merupakan salah satu alternatif material yang dikembangkan sebagai paduan dasar untuk komposit bermatrik logam. Dalam manufaktur kawat konduktor, proses pengerolan panas merupakan bagian proses yang tidak terpisahkan untuk mereduksi penampang. Adapun fokus penelitian adalah mengamati pengaruh pengerolan panas terhadap paduan AlZrCe, dimana yang divariasikan adalah prosentase reduksi dan kandungan cerium dalam paduan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan prosentasi reduksi pengerolan panas dan kenaikan kandungan Cerium dalam paduan AlZrCe memberikan dampak peningkatan nilai konduktivitas listrik paduan AlZrCe. Hasil optimal yang diperoleh adalah 62,07% IACS, yang didapat dari master paduan AlZrCe dengan kandungan 0,3% Ce dan reduksi sebesar 67,5%. Hasil ini mendekati bahan EC (99,6% Al) yang memiliki konduktivitas listrik 63,4% IACS.

**Kata kunci** : paduan AlZrCe, pengerolan panas, prosentase reduksi, kandungan Cerium, konduktivitas listrik, IACS.

#### **Abstract**

In an effort to obtain an electrical conductor material, aluminum-cerium alloys is one alternative materials developed as a basis for metal matrix composites. In manufacturing the conductor wire, the hot rolling process is an integral part of the process in order to reduce cross-section. The focus of the research was to observe the effect of the hot rolling of the alloy AlZrCe, where varied is the reduction process and the content of cerium in the alloy. The results showed that an increase in the percentage of reduction of hot rolling and the increase in the alloy content of Cerium AlZrCe impact value increase electrical conductivity alloys AlZrCe. Optimal results are obtained 62.07% IACS, which is obtained from the master alloy AlZrCe with Ce content of 0.3% and a reduction of 67.5%. This result approached the EC materials (99.6% Al) which has the electrical conductivity of 63.4% IACS.

**Keywords** : AlZrC alloy, hot rolling, the percentage of reduction, cerium content, electrical conductivity, IACS.

Diterima (received) : 1 April 2016, Direvisi (Revised) : 12 Oktober 2016, Disetujui (Accepted) : 28 November 2016

## PENDAHULUAN

Alumunium merupakan jenis logam yang memiliki daya hantar listrik yang tinggi disamping bahan tembaga<sup>1,2,3</sup>. Dalam hal tertentu alumunium memiliki keunggulan dimana berat jenisnya yang rendah lebih kurang sepertiga berat tembaga, tahan korosi dan mudah difabrikasi dengan proses apapun<sup>1,3</sup>, namun sifat elastisitas sangat rendah.

Untuk keperluan bahan konduktor, khususnya untuk bahan kawat listrik tegangan tinggi, alumunium sudah banyak digunakan. Diantaranya kawat listrik dari alumunium berpenguat baja. Namun bahan ini dilaporkan lebih berat dan adanya kecenderungan baja yang menjadi penguatnya bisa terkorosi.

Banyak alternatif material kawat dikembangkan dari bahan yang berbasis paduan alumunium, diantaranya paduan alumunium-cerium. Cerium yang merupakan kelompok logam tanah jarang dianggap mampu meningkatkan kekuatan dan juga dapat meningkatkan daya hantar listrik<sup>4</sup>. Dari hasil penelitian yang pernah dilakukan<sup>5</sup> diketahui bahwa kandungan Ce dalam paduan alumunium berkisar 0,11-0,5%. Bahkan penelitian paduan Al-Ce untuk matrik komposit juga sudah ada yang melakukan<sup>6, 7</sup>).

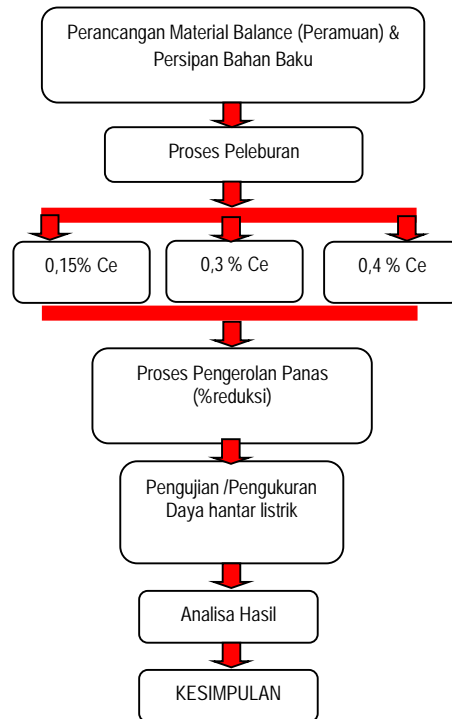
Sebagai paduan, bahan baku Cerium cukup banyak di Indonesia. Salah satunya berasal dari pemurnian monasit, yang merupakan *tailing* tambang timah di Bangka Belitung<sup>8, 9</sup>.

Dalam tulisan ini fokus riset yang dikemukakan terkait proses pembentukan (metal forming) karena dalam proses pembuatan kawat akan terjadi proses reduksi penampang yang biasanya dilakukan dengan proses rolling atau ekstruksi<sup>10</sup>. Adapun hal yang diteliti adalah karakteristik dasar proses pengerolan panas paduan Alumunium-Zircon-Cerium, bagaimana hubungan perubahan presentase reduksi dan prosentase kandungan cerium dalam paduan terhadap konduktivitas listriknya.

## BAHAN DAN METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental untuk mendapatkan komposisi paduan serium yang optimal pada paduan Al-Zr-Ce dengan variasi komposisi serium dan besar reduksi

proses hot rolling untuk mendapatkan daya hantar listrik yang baik. Pada Gambar 1 dapat dilihat diagram alir yang menggambarkan metode riset yang dilakukan.



Gambar 1.  
Diagram Alir Penelitian

### a. Perancangan/Peramuan Bahan dan Peleburan

Pada penelitian ini bahan baku yang digunakan terdiri dari ingot aluminium murni (99,98%), master alloy AlCe-10 (serium 10%) dan AlZr-5 (zirkonium 5%). Untuk mendapatkan perkiraan jumlah bahan baku yang akan dilebur sesuai dengan target komposisi paduan AlZrCe yang akan diteliti, maka terlebih dahulu dilakukan pembuatan *material balance*. Komposisi paduan yang akan dibuat adalah paduan alumunium dengan kandungan 0,12% Zr, sedangkan kandungan Ce divariasikan masing-masing 0,15; 0,3 dan 0,4% Ce. Hal ini mengacu pada penelitian terdahulu<sup>6</sup> dengan kandungan 0,15% Ce.

Peleburan dilakukan pada tungku peleburan menggunakan krusibel dengan pemanas *burner*. Logam cair hasil peleburan dituang pada cetakan billet, seperti dapat dilihat pada Gambar 2.





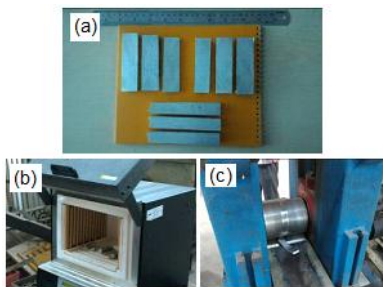
Gambar 2.  
Proses Peleburan Paduan Al-Zr-Ce dan penuangan pada cetakan.

### b. Proses pengerolan panas

Setelah dihasilkan billet dari hasil pengecoran, selanjutnya dilakukan simulasi percobaan *hot rolling* (pengerolan panas), dengan berbagai reduksi ketebalan. Sebelum proses *hot rolling* billet hasil pengecoran dimasing menjadi slab ukuran tebal berkisar 12 – 18 mm, dengan lebar 20 mm, dan panjang 80 mm. Proses *hot rolling* dilakukan pada temperatur 450 °C dan reduksi ketebalan 30% - 70%. Sampel dipanaskan (*reheating*) sampai temperatur 475 °C, lalu dirol pada temperatur 450 °C dengan kecepatan rol konstan 50 rpm, dengan terlebih dahulu mengatur rol gap untuk menentukan ketebalan akhir (besar reduksi) yang diinginkan. Pada Gambar 3 dapat dilihat persiapan sampel, proses *reheating* dan proses pengerolan. Dari hasil pengukuran sampel sebelum dan setelah dirol dapat dihitung besar reduksi pengerolan<sup>2)</sup>

$$r\% = \frac{t_o - t_f}{t_o} \times 100\% \quad (1)$$

dimana  $t_o$  adalah tebal sebelum dirol, dan  $t_f$  adalah tebal setelah dirol.



Gambar 3.  
Percobaan hot rolling : (a) Sampel Uji (b), Pemanasan Sampel Dalam Furnace, dan (c) Proses Pengerolan

### c. Pengujian/Karakterisasi

Untuk melihat perubahan daya hantar listrik, maka dilakukan pengukuran nilai

konduktivitas listrik dengan metode *Eddy current*. Pengukuran dilakukan pada sampel hasil pengecoran (billet), dan sampel setelah proses *hot rolling* dengan berbagai reduksi ketebalan dan berbagai paduan serium, dengan terlebih dahulu dilakukan pengukuran pada aluminium komersial (Al 99,98%), seperti dapat dilihat pada Gambar 4. Untuk keperluan pengukuran dilakukan preparasi permukaan sampel dengan proses *grinding*.



Gambar 4.  
Uji Konduktivitas Listrik dengan Eddy Current

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### HASIL PENELITIAN

#### Rancangan peramuan bahan

Hasil rancangan *material balance* (peramuan) paduan AlZrCe untuk target komposisi masing-masing 0,15; 0,3 dan 0,4% Ce serta kandungan tetap 0,12% Zr dapat dilihat pada Tabel 1-3. Untuk paduan dengan 0,15% Ce, pada peleburan 25 kg paduan dibutuhkan aluminium murni (99,98%) 24,02 kg, AlCe-10 sebesar 2,45 kg dan AlZr-5 sebesar 1,48 kg (Tabel 1). Untuk komposisi Ce 0,3% dan 0,4% dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

#### Dimensi Hasil Pengerolan Panas

Setelah pengerolan panas dilakukan pengukuran dimensi (tebal) sampel. Dari hasil pengukuran tebal sampel dapat dihitung besar reduksi yang dialami masing-masing sampel, seperti dapat dilihat pada Tabel 4. Pada tabel tersebut dapat diketahui besar reduksi yang dihasilkan berkisar 30 sampai 75%, dimana untuk mencapai ketebalan akhir sampel dirol panas sampai dengan 3 pas.

**Hasil Uji Konduktivitas Listrik**

Hasil pengukuran konduktivitas listrik untuk masing-masing paduan Al-Zr-Ce baik sebelum dan sesudah proses pengerolan

dapat dilihat Tabel 5. Hasil pengukuran mengacu pada paduan EC (99,6 Al) yang besarnya 63,4% IACS (The International Annealed Copper Standard)<sup>10</sup>.

Tabel 1.  
Rancangan Material Balance Paduan Al-Ce-Zr untuk 0,15 % Ce

No	JENIS BAHAN	KOMPOSISI										%	kg	KOMPOSISI													
		Zr	Ce	Si	Fe	Cu	Ti	Zn	Mg	Al	Ni			Mn	Zr	Ce	Si	Fe	Cu	Ti	Zn	Mg	Al	Ni	Mn		
1	Ingot Al			0.04	0.14							99.8		96.07	24.02	0.00	0.00	0.04	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	95.90	0.00	0.00
2	AlZr5	5.01		0.12	0.23	0.00	0.0	0.01			94.62	0	0.004	2.45	0.61	0.12	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.32	0.00	0.00
3	AlCe-10		9.96	0.04	0.17	0.008		0.007	0.004		89.805	0.006	1.48	0.37	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.33	0.00	0.00	
<b>Total</b>													100.00	25.00	0.12	0.15	0.04	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.54	0.00	0.00

Tabel 2.  
Rancangan Material Balance Paduan Al-Ce-Zr untuk 0,3 % Ce

No	JENIS BAHAN	KOMPOSISI										%	kg	KOMPOSISI													
		Zr	Ce	Si	Fe	Cu	Ti	Zn	Mg	Al	Ni			Mn	Zr	Ce	Si	Fe	Cu	Ti	Zn	Mg	Al	Ni	Mn		
1	Ingot Al			0.04	0.14							99.8		94.59	23.65	0.00	0.00	0.04	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	94.42	0.00	0.00
2	AlZr5	5.01		0.12	0.23	0.00	0.0	0.01			94.62	0	0.004	2.41	0.60	0.12	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.28	0.00	0.00
3	AlCe-10		9.96	0.04	0.17	0.008		0.007	0.004		89.805	0.006	2.99	0.75	0.00	0.30	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.69	0.00	0.00	
<b>Total</b>													100.00	25.00	0.12	0.30	0.04	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.39	0.00	0.00

Tabel 3.  
Rancangan Material Balance Paduan Al-Ce-Zr untuk 0,4 % Ce

No	JENIS BAHAN	KOMPOSISI										%	kg	KOMPOSISI													
		Zr	Ce	Si	Fe	Cu	Ti	Zn	Mg	Al	Ni			Mn	Zr	Ce	Si	Fe	Cu	Ti	Zn	Mg	Al	Ni	Mn		
1	Ingot Al			0.04	0.14							99.8		93.61	23.40	0.00	0.00	0.04	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	93.44	0.00	0.00
2	AlZr5	5.01		0.12	0.23	0.00	0.0	0.01			94.62	0	0.004	2.39	0.60	0.12	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.26	0.00	0.00
3	AlCe-10		9.96	0.04	0.17	0.008		0.007	0.004		89.805	0.006	4.00	1.00	0.00	0.40	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.59	0.00	0.00	
<b>Total</b>													100.00	25.00	0.12	0.40	0.04	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.29	0.00	0.00

Tabel 4.  
Dimensi master paduan Al-Zr-Ce Paduan Al-Ce-Zr Sebelum dan Sesudah Pengerolan Panas dengan Reduksi 30-70%

No.	Kandungan Ce (%) Paduan AlZrCe	Dimensi Awal t <sub>0</sub>	Pas 1		Pas 2		Pas 3	
			t <sub>1</sub>	(r %)	t <sub>2</sub>	(r %)	t <sub>3</sub>	(r %)
1	0,15	11,85	7,78	34,35	6,13	48,27	4,31	63,63
2	0,30	13,68	9,52	30,38	6,23	54,44	4,44	67,53
3	0,40	17,73	11,80	33,43	6,25	64,74	4,30	75,74

Tabel 5  
Hasil Uji Konduktivitas Listrik Untuk Masing-Masing Paduan Al-Zr-Ce Baik Sebelum Dan Sesudah Proses Pengerolan Panas

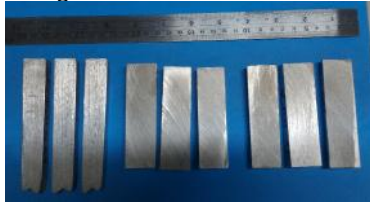
Kondisi	Reduksi %	Nilai konduktivitas Listrik (%IACS)
<b>Al murni</b>	0.0%	63.40
<b>AlZr Ce-Ce 0.15</b>	0.0%	60.23
AlZr Ce-Ce 0.15 HR1	34.3%	59.05
AlZr Ce-Ce 0.15 HR2	48.3%	61.44
AlZr Ce-Ce 0.15 HR3	63.6%	60.68
<b>AlZr Ce-Ce 0.30</b>	0.0%	62.10
AlZr Ce-Ce 0.3 HR1	33.4%	61.45
AlZr Ce-Ce 0.3 HR3	67.5%	62.07
<b>AlZr Ce-Ce 0.4</b>	0.0%	60.62
AlZr Ce-Ce 0.4 HR2	64.7%	61.16
AlZr Ce-Ce 0.4 HR3	75.7%	60.59

**PEMBAHASAN**

**Analisa Kemampuan Reduksi Proses Pengerolan Panas**

Dari hasil pengerolan panas yang dilakukan pada master paduan AlZrCe dengan kandungan masing-masing 0,15; 0,3; dan 0,4% Ce serta 0,12% Zr (Tabel 4) diketahui bahwa ketiga jenis paduan mampu direduksi sebesar 63-75,74%. Kemampuan reduksi terbesar terjadi pada paduan AlZrCe dengan kandungan 0,4% Ce sebesar 75,74% kemudian kandungan 0,3% Ce sebesar 67,53% dan paling akhir kandungan 0,15% Ce sebesar 63,63%. Secara visual seperti dapat dilihat pada Gambar 5 menunjukkan paduan AlZrCe dapat dirol

panas dengan reduksi total mencapai 75% tanpa mengalami kerusakan atau retak.



Gambar 5  
Foto Visual Hasil Pengerolan Pada Paduan AlZrCe

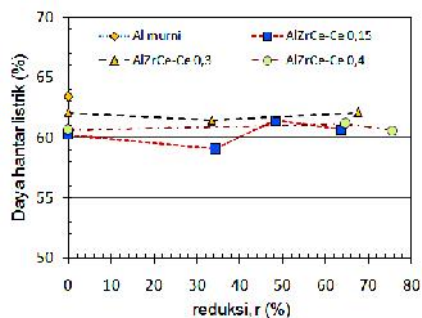
### Analisa Sifat Konduktivitas Listrik

Sebagai acuan dalam pengujian konduktivitas listrik paduan AlZrCe adalah konduktivitas aluminium murni EC (99,6% Al) yang besarnya 63,4% IACS (The International Annealed Copper Standard)<sup>11</sup>).

Dari hasil pengujian konduktivitas listrik paduan AlZrCe dalam kondisi as-cast atau reduksi 0% (Tabel 5 dan Gambar 6) diketahui penambahan unsur Ce sedikit menurunkan konduktivitas panas. Penurunan terbesar terjadi pada kandungan 0,15% Ce menjadi 60,23% IACS, kemudian 0,4% Ce menjadi 60,63% IACS dan terakhir 0,3% Ce menjadi 62,06% IACS.

Sebagai pembandingan dari penelitian sebelumnya, diketahui komposit matriks paduan AlZrCe berpenguat partikel alumina ( $Al_2O_3$ ) dengan kandungan 0,15% Ce hasil pengerolan dingin memiliki konduktivitas listrik berkisar 56,3-62% IACS<sup>5</sup>. Artinya hasil proses pengerolan panas master paduan AlZrCe sudah dapat mencapai nilai konduktivitas listrik seperti setelah proses akhir (rol dingin), khususnya pada paduan AlZrCe dengan kandungan 0,3% Ce yang nilainya dapat mencapai 62,07% IACS.

Mengacu pada data hasil pengerolan panas (Table 5 dan gambar 6) terlihat adanya fluktuasi turun naiknya konduktivitas listrik karena kenaikan presentasi reduksi.



Gambar 6  
Grafik Hubungan Nilai Konduktivitas Listrik (%IACS) terhadap % Kandungan Ce dalam

### paduan Al-Zr-Ce dan Besar Reduksi Pengerolan Panas

Pada kadar 0,15 % dan 0,3% Ce justru terjadi penurunan konduktivitas listrik saat reduksi sekitar 33-35%, namun setelah itu dengan bertambahnya reduksi konduktivitas listrik naik kembali dan bahkan melebihi seperti sebelum direduksi. Peningkatan konduktivitas listrik maksimal justru terjadi pada reduksi 48,3% untuk kadar Ce 0,15%, reduksi 67,05% untuk kadar Ce 0,3%. Sedangkan untuk kadar Ce 0,4% terjadi pada reduksi 75,7%. Setelah itu terlihat penurunan kembali konduktivitas. Informasi ini tentu dapat menjadi pertimbangan dalam penentuan reduksi dalam memproduksi kawat dengan ukuran tertentu sehingga konduktivitas listriknya tidak menurun. Terjadinya fluktuasi ini diperkirakan karena reduksi yang dilakukan dalam kondisi pengerolan panas, sehingga sebagian butir kristal hasil rol mengalami rekristalisasi. Berbeda dengan kondisi pengerolan dingin dimana terjadi perubahan bentuk dan orientasi butir kearah pengerolan akan meningkatkan konduktivitas listrik<sup>6</sup>) apalagi kalau reduksinya semakin besar.

Bila diamati dari kandungan Ce yang terdapat pada paduan AlZrCe, maka terlihat peningkatan kandungan Ce sampai jumlah tertentu menaikkan konduktivitas listrik. Paduan AlZrCe dengan kandungan 0,3%Ce memiliki konduktivitas tertinggi, namun kembali turun untuk kandungan 0,4% Ce. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Pengfei, dkk.<sup>5</sup>) yang melaporkan pengaruh kandungan Ce pada rentang 0,05%-0,15% terhadap konduktivitas listrik batang aluminium, dimana konduktivitas listrik meningkat dengan penambahan Ce. Selain itu hasil penelitian Kirman, dkk.<sup>7</sup>) menyatakan bahwa unsur Ce berperan membantu mengikat pengotor-pengotor dalam aluminium seperti Si dan Fe dalam fasa intermetalik, disamping juga sebagai penghalus butir<sup>2, 4, 6</sup>), sehingga dapat meningkatkan konduktivitas terutama setelah pengerolan dingin. Sementara itu hasil penelitian Chandrashekar, dkk.<sup>12</sup>) menunjukkan dengan semakin halus ukuran butir akan meningkatkan daya hantar listrik paduan aluminium. Hal ini menunjukkan deformasi melalui proses pengerolan panas atau pengerolan dingin dengan reduksi yang semakin besar akan menghasilkan struktur mikro dengan butir yang semakin halus, sehingga dapat meningkatkan daya hantar listrik.

Dari Gambar 6 terlihat bahwa hasil konduktivitas listrik optimal yang dapat dicapai terjadi pada master paduan AlZrCe dengan kandungan 0,3% Ce yang telah dirol panas dengan reduksi sebesar 67,5%. Besar konduktivitas listrik yang diperoleh adalah 62,07% IACS mendekati bahan EC (99,6% Al) yang memiliki konduktivitas listrik 63,4% IACS.

## SIMPULAN

Paduan AlZrCe dapat dirol panas (*hot rolling*) tanpa mengalami kerusakan dengan total reduksi penampang sebesar 63-75,74% dan memberi kontribusi meningkatkan konduktivitas listrik. Penambahan kandungan Ce baik pada kondisi as-cast maupun hasil rol panas menaikkan konduktivitas listrik. Kenaikan ini mencapai puncak pada kandungan Ce 0,3% kemudian mengalami penurunan kembali pada kandungan 0,4% Ce (namun masih lebih tinggi dari kondisi 15% Ce. Hasil konduktivitas listrik optimal yang diperoleh terjadi pada master paduan AlZrCe dengan kandungan 0,3% Ce yang telah dirol panas dengan reduksi sebesar 67,5% yang nilainya 62,07% IACS mendekati bahan EC (99,6% Al) yang memiliki konduktivitas listrik 63,4% IACS.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan pada teman teman di B2TKS-BPPT yang telah membantu memfasilitasi beberapa pengujian terutama untuk pengujian konuktivitas listrik.

## DAFTAR PUSTAKA

- 1) Pat L. Mangonon, Ph.D, "The Principles of Materials Selection for Engineering Design", Prentice Hall, Inc., USA, 2012.
- 2) William D. Callister, *Fundamentals of Materials Science and Engineering*, New York, John Wiley & Sons, Inc., 2012,
- 3) Serope Kalpakjian, *Manufacturing Engineering & Technology*, USA, Prentice Hall Inc., 2014
- 4) Pan, F., Edmond, D.V., Zhou S., and Ding, P., *Effect of Rare Earth Metals on Electrical Conductivity and Mechanical Properties of Commercial Purity Aluminum*, *Material Science and Technology*, Vol.10, (1994)
- 5) Li Pengfei, Wu Zhigang, Wang Yunli, Gao Xizhu, Wang Zaiyun, Li Zhiqiang, *Effect Of Cerium On Mechanical Performance And Electrical Conductivity of Aluminum Rod for Electrical Purpose*, *Journal of Rare Earth*, Vol.24, Spec. Issue, (Dec. 2006), p. 355.
- 6) Kirman, M. Anne Zulfia, Sutopo, Bambang Suharno, *Investigation On Mechanical Properties of AlZrCe-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanocomposites Fabricated by Stir Casting*, IOP Conference Series: Material Science and Engineering 58 (2014) 012009
- 7) Kirman, M; Maulana, Panji; Zulfia, Anne, *Characteristics of AlZrCe-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanocomposites Produced by Stir Casting Method as an Alternative Material for Electrical Applications*, *Advanced Science Letters*, Volume 20, Numbers 10-12, October 2014, pp. 2271-2274(4) 5 www.lme.com, LME September 2015.
- 8) MV.Purwani, *Prospek Pendirian Pabrik Pembuatan Logam Tanah Jarang Oksida dari Monasit*. Presentasi di Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan Tenaga Nuklir Nasional Yogyakarta. 2013.
- 9) Faizal R, Hafni LN, Budi S, Sugeng W, Susilaningtyas, *Pengolahan Monasit dari Limbah Penambangan Timah : Pemisahan Logam Tanah Jarang (RE) dari U dan Th*. Prosiding Presentasi Ilmiah Bahan Bakar Nuklir V P2TBDU dan P2BGN-BATAN Jakarta.2000
- 10) Sidney H. Avner, "Introduction to Physical Metallurgy", MC. Graw-Hill Inc., 2004.
- 11) Suhartono, Agus H., *Analisa Kehandalan Mekanik Kabel Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi*, *Jurnal Sains dan Teknologi*, Vol. 6 No 2. (Agustus 2004) p. 23-31.
- 12) Chandrashekar T., Muralidhara, M.K., Kashyap, K.T, Rao, P.R., "Effect of Growth Restricting Factor on Grain Refinement of Aluminium Alloys", *International Journal of Advance Manufacturing Technology*, 40, (2009), 234-241.

# OPTIMASI DESAIN EVAPORATOR DAN KONDENSER UNTUK SISTEM PENDINGIN KABIN KENDARAAN

## DESIGN OPTIMIZATION OF EVAPORATOR AND CONDENSER FOR COOLING SYSTEM OF PASSENGER VEHICLE CABIN

I G A Uttariyani

Komplek PUSPIPTEK Gd. 230 BT2MP– BPPT, Serpong, Tangerang Selatan  
e-mail:a.uttariyani@bppt.go.id

### Abstrak

Pada perancangan kondensor ataupun evaporator, efektifitas pertukaran panas merupakan bagian yang terpenting untuk meningkatkan kinerja dari peralatan penukar kalor. Pada kondensor jenis fin tube salah satu parameter perancangan yang paling penting untuk meningkatkan efektivitas pertukaran panas adalah urutan dan peletakkan tube-tube untuk mengalirkan refrigeran pada tube-tube kondensor. Circuit tube menentukan distribusi refrigeran melalui kondensor yang berdampak pada massa refrigeran, pertukaran panas, penurunan tekanan, dan temperatur pada setiap tube. Paper ini membahas mengenai pembuatan sirkuit refrigerant di dalam peralatan penukar panas, dan mensimulasikan temperature refrigerant, temperature udara maupun fraksi uap pada setiap tube untuk menghasilkan desain yang optimal dengan menggunakan perangkat lunak *EVAP-COND*. Berdasarkan hasil optimasi dari beberapa konfigurasi sirkuit tube refrigeran didapatkan desain evaporator dan kondensor yang paling optimal dengan kapasitas pelepasan panas 26 kW.

**Kata kunci:** Evaporator, Kondensor, Optimasi Desain, Susunan Tube

### Abstract

*Heat Exchanger effectiveness in designing the condenser or evaporator is an important part to improve the performance of the heat exchanger equipment. One of the most important design parameter for improving the effectiveness of heat exchange in the fin tube condenser type is the order and arrangement tubes to drain the refrigerant in the condenser tubes. Circuit tube determines the distribution of refrigerant through the condenser which impact on the masses refrigerants, heat exchangers, pressure drop, and temperature on each tube. In the paper, EVAP-COND software was used for creating refrigerant circuit in the heat exchanger equipment, and simulating the refrigerant temperature, air temperature and vapor fraction in each tube to produce the optimal design. The result showed that the most optimal design of evaporator and condenser for capacity of 26 kW heat release were obtained with multiple circuit configurations tube evaporator and condenser refrigerant.*

**Key words :** *Evaporator, Condenser, Design Optimization, Circuit Tube*

Diterima (recieved) : 15 Mei 2016, Direvisi (Revised) : 3 Oktober 2016, Disetujui (Accepted) : 27 November 2016

### PENDAHULUAN

Tujuan utama sistem pengkondisian udara adalah mempertahankan keadaan udara di dalam ruang yang meliputi pengaturan temperatur, kelembaban relatif, kecepatan sirkulasi udara maupun kualitas udara. Menjaga kenyamanan di dalam suatu ruangan atau kabin kendaraan atau alat transportasi adalah sangat sulit karena banyaknya variabel

yang sering kali berubah baik berupa perubahan jumlah penumpang, kondisi buka tutup pintu, kondisi laju kendaraan maupun perubahan kondisi luar kabin.

Perhitungan beban pada kabin kendaran angkut penumpang terbagi ke dalam dua lokasi yaitu kabin depan dan kabin belakang, dimana setiap beban pendingin pada masing-masing kabin diatasi oleh satu evaporator, sedangkan kondensor harus mengatasi beban

pendinginan dari dua evaporator. Ketika melakukan perancangan pada sistem pendingin, parameter penting yang diperlukan adalah melakukan estimasi beban pendingin yang meliputi beban metabolik penumpang, beban kebutuhan udara segar. Untuk dapat melakukan estimasi beban pendingin, diperlukan survei secara mendalam

Ketika melakukan perancangan pada sistem pendingin prosedur penting dan menjadi paling utama adalah dengan melakukan kalkulasi radiasi dan beban konduksi dari dinding<sup>1</sup>. Untuk mendapatkan estimasi beban pendingin, diperlukan survei secara mendalam agar dapat dilakukan analisis yang detil terhadap sumber-sumber beban pendinginan, sehingga dari estimasi tersebut dapat ditentukan jenis peralatan dan energi yang dipergunakan.

Pada perancangan komponen sistem pendingin evaporator dan kondensor, efektifitas pertukaran panas merupakan bagian yang terpenting untuk meningkatkan kinerja dari peralatan penukar kalor. Pada studi ini, perangkat lunak "Evap-Kond" dipergunakan untuk membuat sirkuit refrigerant di dalam peralatan penukar panas dan mensimulasikan temperature refrigerant, temperature udara maupun fraksi uap pada setiap tube untuk menghasilkan desain yang optimal. Tujuan dari kegiatan ini untuk mendapatkan desain dari fin-tube evaporator dan kondensor yang paling optimal dari beberapa konfigurasi sirkuit refrigeran untuk kabin depan kendaraan angkut dengan daya termal 9 kW. Kegiatan ini merupakan kelanjutan dari kajian Perhitungan Beban Termal Pada Sistem Pengkondisian Udara Kendaraan Militer Pengangkut Personel<sup>7</sup>

Paper ini berisikan hasil kajian terkait desain dari fin-tube evaporator dan kondensor yang paling optimal dari beberapa konfigurasi sirkuit refrigeran untuk kabin depan kendaraan angkut dengan daya termal 9 kW.

## TINJAUAN PUSTAKA

Evaporator dan kondensor merupakan komponen utama dalam sistem pengkondisian udara kendaraan angkut. Evaporator berfungsi sebagai alat penyerap kalor dari lingkungan ke refrigerant, sehingga refrigerant akan mengalami perubahan fasa dari cair menjadi uap. Dalam proses pendinginan, pada umumnya temperatur permukaan bidang evaporator lebih rendah daripada titik embun dari udara masuk. Apabila udara ruangan menyentuh permukaan koil pendingin, uap air

dalam udara akan mengembun sehingga koil menjadi basah<sup>2</sup>.

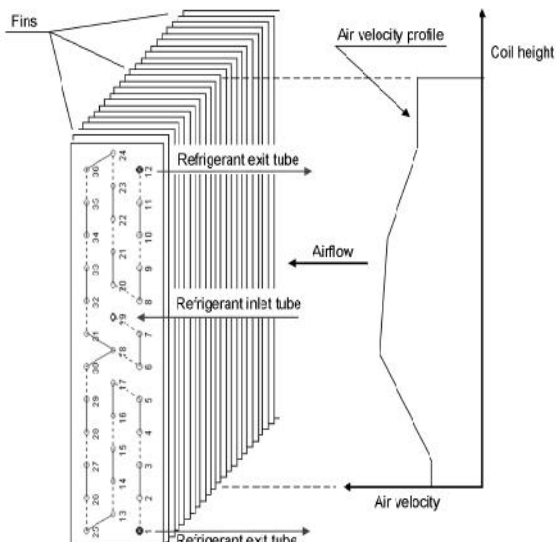
Sedangkan kondensor mempunyai fungsi sebagai komponen tempat terjadinya perpindahan panas dari fluida refrigeran ke udara luar. Pada sistem pengkondisian udara pada umumnya menggunakan tipe fin-tube untuk kondensor. Refrigeran mengalir sepanjang tube-tube, sedangkan udara dilewatkan melalui sirip-sirip di luar tube. Refrigeran keluar dari kompresor, masuk kondensor dalam kondisi panas lanjut (superheated), dan keluar dari kondensor dalam kondisi fluida subdingin (subcooled). Di dalam kondensor proses perpindahan panas terbagi dalam tiga kondisi yaitu panas lanjut (super heated), kondisi uap basah (saturated) dan sub dingin (subcooled)<sup>2-3</sup>.

Pada perancangan evaporator maupun kondensor, efektifitas pertukaran panas merupakan bagian yang terpenting untuk meningkatkan kinerja dari peralatan penukar kalor. Pada kondensor jenis fin tube salah satu parameter perancangan yang paling penting untuk meningkatkan efektifitas pertukaran panas adalah urutan dan peletakkan tube-tube untuk mengalirkan refrigeran pada tube-tube kondensor. Circuit tube menentukan distribusi refrigeran melalui kondensor yang berdampak pada massa refrigeran, pertukaran panas, penurunan tekanan, dan temperatur pada setiap tube. Circuit refrigerant pada umumnya ditentukan oleh matrik dan geometri yang meliputi diameter tube, pengaturan jarak tube dan fin, dan luas permukaan perpindahan panas<sup>4,5,8</sup>.

Salah satu perangkat lunak untuk merancang peralatan penukar kalor fin tube yang dapat mensimulasikan konfigurasi dari sirkuit tube adalah perangkat lunak 'Evap Kond NIST'. Gambar 1. menunjukkan matrik dari peralatan penukar panas fin tube yang di gunakan oleh perangkat lunak "Evap Kond". Konfigurasi dari tube digambarkan pada sisi samping koil peralatan penukar kalor, pada garis lurus memperlihatkan hubungan antar tube oleh U tube sedangkan pada garis putus-putus hubungan terjadi pada sisi sebaliknya. Pada simulasi ini untuk masing-masing tube diberikan penomoran.

Perangkat lunak ini memudahkan pengguna untuk membuat sirkuit refrigerant di dalam peralatan penukar panas, dan dapat di gunakan untuk menghasilkan simulasi temperatur refrigerant, temperatur udara maupun fraksi uap pada setiap tube. Hasil-hasil ini dapat digunakan sebagai acuan pemakai untuk desain yang optimal.





Gambar 1. Konfigurasi dari peralatan penukar kalor dengan perangkat lunak “EVAP-KOND”

**METODE PENELITIAN**  
**Perhitungan evaporator**

Perhitungan termal evaporator dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yang dibuat khusus untuk simulasi evaporator pada sistem pengkondisian udara. Langkah-langkah yang digunakan didalam desain evaporator meliputi:

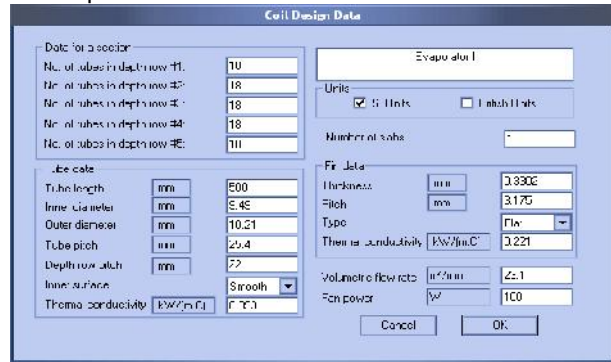
1. Penetapan parameter operasi  
Parameter yang digunakan sebagai data inputan dalam perancangan ini meliputi:
  - Kondisi udara dengan  $T_{inlet} = 26,5^{\circ}C$  (evaporator)
  - Kondisi udara luar  
 $T_{inlet} = 35^{\circ}C$ ,  $T_{outlet} = 40^{\circ}C$
  - Refrigeran yang digunakan : R-134a  
Temperatur saturasi =  $5^{\circ}C$ ,  
Tekanan kondensasi = 1492 kPa  
Temperatur inlet kondensator =  $104^{\circ}C$
  - Daya fan : 100 W.
2. Penentuan geometri evaporator  
Matriks geometri evaporator yang digunakan adalah sebagai berikut:
  - Finned-tube  
panjang = 500 mm  
OD = 10,21 mm, ID = 9,49 mm,  
tube-pitch = 25,4 mm  
depth-row-pitch = 22 mm.
  - Jumlah row = 5 dengan jumlah tube tiap row = 18 berdasarkan data geometri evaporator terpasang.
  - Bahan tube : tembaga/copper dan bahan fin : aluminium-flat (tebal = 0,33 mm, pitch = 3.175 mm).

Selain data batasan seperti telah ditunjukkan di paragraf sebelumnya, diperlukan lagi beberapa asumsi agar perhitungan termal dapat dilakukan. Asumsi-asumsi yang diambil mencakup:

- Tekanan udara inlet : 103 kPa.
- Kelembaban udara di inlet : 75% RH.

3. Penyusunan Konfigurasi Evaporator

Berdasarkan data-data di atas, disusunlah konfigurasi evaporator agar memiliki dimensi yang sesuai proporsional. Menurut Ding, Dkk, jumlah baris dan koneksi tube, maka dicari konfigurasi yang dapat memenuhi kondisi operasi yang telah ditentukan<sup>61</sup>. Pada Gambar 2 menunjukkan matrik geometri dan parameter-parameter yang digunakan di dalam merancang evaporator.



Gambar 2.

Data masukkan untuk perancangan evaporator

**Perhitungan kondensator**

Metode yang digunakan untuk mengoptimasi desain kondensator dengan membandingkan hasil simulasi dari beberapa hasil desain kondensator dengan berbagai konfigurasi circuit tube refrigeran.

Langkah-langkah yang digunakan didalam mengoptimasi desain kondensator meliputi:

1. Penetapan parameter operasi  
Parameter yang digunakan sebagai data inputan dalam perancangan ini nantinya digunakan untuk semua konfigurasi desain yang meliputi:
  - Kondisi udara dengan  $T_{inlet} = 35^{\circ}C$
  - Refrigeran yang digunakan : R-134a  
Tekanan kondensasi = 1492 kPa  
Temperatur inlet kondensator =  $104^{\circ}C$
  - Daya fan : 100 W.
2. Penentuan geometri kondensator  
Matriks geometri kondensator yang digunakan adalah sebagai berikut:
  - Finned-tube  
panjang = 600 mm  
OD = 10,21 mm, ID = 9,49 mm,

$tube-pitch = 25,4 \text{ mm}$   
 $depth-row-pitch = 22 \text{ mm}$ .

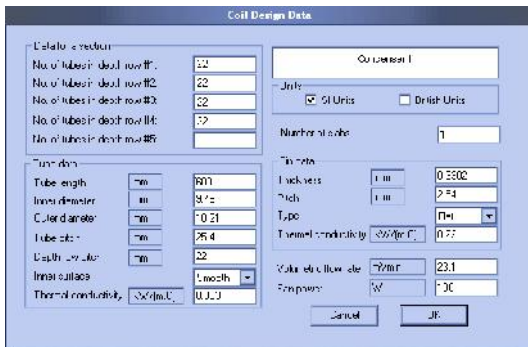
- Jumlah row = 4 dengan jumlah tube tiap row = 22 (dari hasil trial & error)
- Bahan tube : tembaga/copper dan bahan fin : aluminium-flat (tebal = 0,33 mm, pitch = 2.54 mm).

Selain data batasan seperti telah ditunjukkan di point 1 dan 2, diperlukan lagi beberapa asumsi agar perhitungan termal dapat dilakukan. Asumsi-asumsi yang diambil mencakup:

- Tekanan udara inlet : 103 kPa.
- Kelembaban udara di inlet : 75% RH.

3. Penyusunan Konfigurasi Kondensator

Berdasarkan data-data di atas, disusunlah konfigurasi dan koneksi tube. Gambar 3 menunjukkan matrik geometri dan parameter-parameter yang digunakan di dalam merancang kondensator.



Gambar 3.

Data masukkan untuk perancangan kondensator

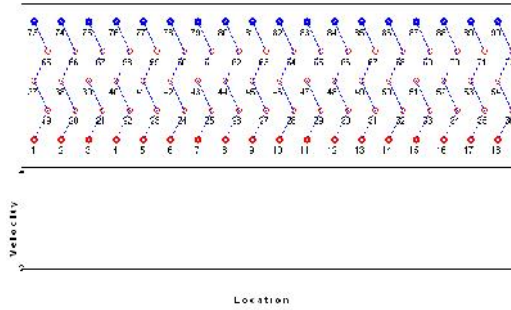
4. Membandingkan hasil simulasi

Membandingkan dari setiap hasil simulasi desain kondensator untuk di dapatkan nilai optimal dari desain yang meliputi kapasitas pelepasan kalor, hasil simulasi distribusi temperatur dan fraksi uap refrigeran, hasil simulasi distribusi temperatur udara.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil Perhitungan dan simulasi Evaporator**

Perhitungan termal dengan menggunakan konfigurasi sirkuit evaporator. Konfigurasi sirkuit tersebut terdiri dari susunan jumlah baris tube dan jumlah tube pada setiap barisnya, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4.

Konfigurasi dan sirkuit refrigerant perancangan evaporator.

Hasil simulasi menunjukkan kemampuan evaporator pada kondisi temperature saturasi refrigerant 5°C, sedangkan temperature superheat keluar evaporator 6.35°C. Temperatur udara masuk evaporator 26.5°C dengan kelembaban relatif 75%. Tabel 1 menunjukan hasil simulasi distribusi fraksi uap dan temperature refrigerant . Dimana hasil simulasi pada temperature udara keluar evaporator pada setiap sirkuit tube refrigerant adalah rata-rata 11.2°C, dengan temperature udara masuk evaporator sebesar 24°C

Tabel 1.

Hasil Simulasi temperatur dan fraksi massa refrigerant

Tube	Quality	Temp Ref	Sub cooling	Ref. Mass Fract
73	1.00	11.2	6.2	0.056
74	1.00	11.6	6.6	0.056
75	1.00	11.3	6.3	0.056
76	1.00	11.2	6.2	0.056
77	1.00	11.2	6.2	0.056
78	1.00	11.2	6.2	0.056
79	1.00	11.2	6.2	0.056
80	1.00	11.2	6.2	0.056
81	1.00	11.2	6.2	0.056
82	1.00	11.2	6.2	0.056
83	1.00	11.2	6.2	0.056
84	1.00	11.2	6.2	0.056
85	1.00	11.2	6.2	0.056
86	1.00	11.2	6.2	0.056
87	1.00	11.2	6.2	0.056
88	1.00	11.3	6.3	0.056
89	1.00	11.2	6.2	0.056
90	1.00	11.7	6.7	0.056

Sedangkan hasil perhitungan termal menunjukkan kinerja sebagai berikut:

- Kapasitas total : 9,22 kW
- Temperatur udara keluar dari evaporator : 18,1 °C
- Flowrate refrigerant : 226,8 kg/jam
- Temperatur refrigeran keluar evaporator : 11,35 °C
- superheat : 6,35 °C

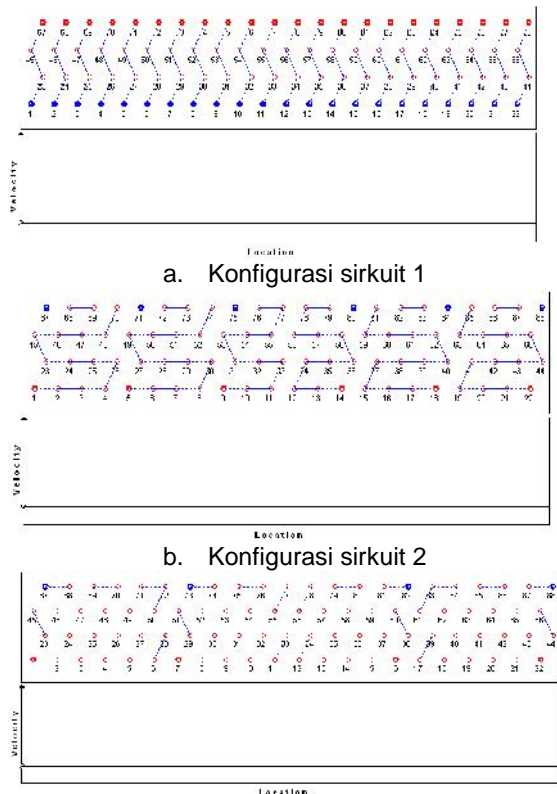


Sedangkan berat material evaporatorl

- Tubes & return bends, copper : 4.7 kg
- Fins, aluminum : 6.0 kg
- Total mass : 10.8 kg

**Hasil perhitungan dan simulasi kondensor**

Gambar 5 menunjukkan beberapa konfigurasi sirkuit kondensor dengan mengacu pada jumlah tube sama yaitu 90 tube yang akan di simulasikan, dengan menggunakan data input perhitungan termal evaporator.



a. Konfigurasi sirkuit 1

b. Konfigurasi sirkuit 2

c. Konfigurasi sirkuit 3

Gambar 5. Konfigurasi dan sirkuit tube refrigerant perancangan kondensor.

Hal yang menjadi perhatian pada perancangan kondensor untuk dapat memenuhi kebutuhan pendinginan pada kendaraan adalah temperature udara keluar dan kualitas fraksi refrigerant serta temperature keluar refrigerant. Tabel 2. Menunjukkan hasil simulasi kondensor pada 3 konfigurasi sirkuit. Berdasarkan fraksi uap, dimana hasil yang di dapatkan menunjukkan fraksi uap pada sirkuit 1 refrigeran keluar kondensor dalam kondisi uap basah dengan fraksi uap bernilai 0,4. Sedangkan untuk sirkuit 2 dan sirkuit 3 menunjukkan refrigerant keluar kondensor

terkondensasi sempurna sehingga berbentuk refrigeran cair.

Sedangkan ditinjau dari distribusi temperatur refrigerant pada setiap sirkuit. Besarnya nilai temperature outlet kondensor pada konfigurasi sirkuit 1 sebesar 55°C, untuk konfigurasi sirkuit 2 temperatur refrigeran keluar kondensor sebesar 41°C sedangkan untuk konfigurasi sirkuit 3 besarnya temperature refrigerant keluar kondensor 38°C.

Besarnya nilai temperature udara outlet kondensor pada konfigurasi sirkuit 1 sebesar 37°C, untuk konfigurasi sirkuit 2 temperatur udara keluar kondensor sebesar 38°C sedangkan untuk konfigurasi sirkuit 3 besarnya temperature udara keluar kondensor 38°C.

Berdasarkan hasil simulasi ketiga konfigurasi di ketahui bahwa nilai kapasitas pelepasan kalor terbesar terdapat pada sirkuit 3, dengan nilai kapasitas pelepasan kalor sebesar 26 kW.

Tabel 2. Data Hasil simulasi beberapa sirkuit

Parameter	Sirkuit 1	Sirkuit 2	Sirkuit 3
<b>Udara</b>			
Temp in (°C)	35	35	35
Temp out (°C)	37	38	38
Tekanan in (kPa)	101.32	101.32	101.32
RH (%)	75	75	75
Flow rate (m <sup>3</sup> /min)	407.23	407.23	407.23
<b>refrigeran</b>			
Tekanan in (kPa)	1492	1492	1492
Temp in (°C)	104	104	104
Temp out (°C)	55	41	38
Kualitas fraksi	0.42	0	0
subcooling (°C)	0	7.47	6.16
Flow rate (kg/h)	403,2	403,2	403,2
Total kapasitas (kW)	16.30	24.82	26.01

**SIMPULAN & REKOMENDASI**

Berdasarkan hasil perhitungan, beban termal yang didapat telah memenuhi parameter-parameter yang telah ditetapkan. Sedangkan matriks geometri alat penukar kalor untuk evaporator kabin depan dengan kapasitas 9 kW adalah sebagai berikut:

- Finned-tube dengan panjang = 500 mm,
- OD = 10,21 mm, ID = 9,49 mm,
- tube-pitch = 25,4 mm
- depth-row-pitch = 22 mm.
- Jumlah row = 5

- Jumlah tube tiap row = 18
- Bahan tube : tembaga/copper
- bahan fin : aluminium-flat
- tebal = 0,33 mm
- pitch = 3.175 mm

Untuk kondensor, hasil simulasi menunjukkan bahwa kapasitas pelepasan kalor yang paling optimal, terdapat pada sirkuit 3, dimana perhitungan beban termal yang didapat telah memenuhi parameter-parameter yang telah ditetapkan dengan nilai kapasitas pelepas kalor sebesar 26 kW Sedangkan matriks geometri alat penukar kalor untuk kondensor yang akan digunakan didalam system pengkondisian udara pada kabin kendaraan angkut personel adalah sebagai berikut:

- Finned-tube dengan panjang = 600 mm,
- OD = 10,21 mm, ID = 9,49 mm,
- tube-pitch = 25,4 mm
- depth-row-pitch = 22 mm.
- Jumlah row = 4
- Jumlah tube tiap row = 22
- Bahan tube : tembaga/copper
- bahan fin : aluminium-flat
- tebal = 0,33 mm
- pitch = 3.175 mm

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Saya ucapkan terimakasih kepada BT2MP BPPT yang telah memfasilitasi studi ini sehingga berjalan lancar. Ucapan terimakasih juga saya sampaikan kepada Bapak Achmad Maswan untuk kontribusinya dalam melakukan simulasi dan perhitungan untuk kajian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. ASHRAE Handbook, "HVAC Systems and Equipment", American Society of Heating , Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.,2012.

2. ASHRAE Handbook, "HVAC Fundamental", American Society of Heating , Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.,2009
3. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2007, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta: American Societyof Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
4. Domanski, P.A. EVAP-COND - Simulation models for finned-tube heat exchangers, Version 3, 2008, National Institute of Standards and Technology; Gaithersburg, MD, USA.
5. Domanski, P.A. David Yashar, Ken Kaufman Finned-Tube Heat Exchanger Simulation Program With Refrigerant Circuitry Optimization Capability, Miedzynarodowa Konferencja Chlodnicza, Poznan, 2008
6. W.K.Ding, J.F. Fan, Y.L.He, W.Q.Tao, Y.X.Zheng, Y.F.Gao, J.Song," A General Simulation Model For Performance Prediction Of Plate Fin-and-Tube Heat Exchanger With Complex Ciecuit Configuration', Applied Thermal Engineering 31 (2011) 3106-3116
7. Ihwan Haryono, Achmad Maswan, "Perhitungan Beban Termal Pada Sistem Pengkondisian Udara Kendaraan Militer Pengangkut Personel" Mekanika Vol 11, UNS,2013
8. Cesare Maria Joppolo, Luca Molinaroli, Alberto Pasini," Numerical Analysis of The Influence of Circuit Arrangement on a fin-and-tube Condenser Performance", Case Studies in Thermal Engineering 6 (2015) 136-146
9. Piotr A. Domanski, David A. Yashar, Janusz Wojtusiak, "EVAP-COND - Simulation models for finned-tube heat exchangers with circuitry optimization" , Version 4, 2016, National Institute of Standards and Technology, USA

## **DESAIN KARAKTERISTIK KAPAL MARKAS UNTUK OPERASI PENGAMANAN PERAIRAN PERBATASAN DAN DUKUNGAN PENANGANAN PASCA BENCANA ALAM PADA MASYARAKAT PULAU TERLUAR**

## **CHARACTERISTICS DESIGN OF HEADQUARTERS SHIP FOR BORDER PROTECTION OPERATION AND SUPPORT TO POST-NATURAL DISASTER MANAGEMENT IN THE OUTLYING ISLANDS COMMUNITY**

**Samudro<sup>a</sup> dan Abdul Kadir<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> Pusat Teknologi Industri Pertahanan dan Keamanan BPPT

<sup>b</sup> Pusat Teknologi Industri dan Sistem Transportasi BPPT

<sup>a</sup>samudro@bppt.go.id, <sup>b</sup>abdul.kadir@bppt.go.id

### **Abstrak**

Ditinjau dari segi kedaulatan dan pertahanan-keamanan nasional, keberadaan pulau-pulau terluar di perairan perbatasan di bagian utara Sulawesi Utara mempunyai arti strategis bagi Indonesia dan layak untuk diamankan. Di sisi lain, wilayah geografis Sulawesi Utara dengan beberapa gunung berapi dan perairan terbuka menghadap ke samudra Pasifik, rawan terjadi bencana alam gempa dan Tsunami. Secara konseptual strategis perlu dikaji kebutuhan sarana dukung transportasi - kapal untuk pengamanan pulau-pulau terluar dan untuk kesiagaan penanganan bencana alam bagi masyarakat wilayah perairan perbatasan. Karenanya pada kajian ini dilakukan studi disain prototip kapal markas yang dilengkapi bulbous-bow untuk mampu beroperasi sesuai karakteristik pada perairan perbatasan bergelombang tinggi, serta berfungsi sebagai sarana dukung operasional patroli pengamanan perairan perbatasan dan penanganan pasca bencana alam. Desain kapal markas panjang 66 m dengan daya 2x155 HP, kecepatan dinas 12,5 Knot telah diuji model di laboratorium hidrodinamika untuk kemampuan ship powering, maneuvering dan sea-keeping dengan hasil memenuhi ketentuan persyaratan IMO.

**Kata Kunci** : Desain kapal markas, pengamanan perairan perbatasan, bantuan pasca bencana alam, bulbousbow, uji laboratorium hidrodinamika

### **Abstract**

In terms of sovereignty and defense-security national, the existence of outer islands in the border at northern North Sulawesi has strategic significance for Indonesia and is worthed to keep. On the other hand, the geographical area of North Sulawesi with several volcanoes and open waters facing the Pacific Ocean susceptible occurs earthquakes and Tsunami. In a strategic conceptual, need to be reviewed transportation support facilities such as the ship for the security of the outer islands and for the alertness of handling natural disasters for the community of border areas. Therefore, the study of a bulbous-bow headquarters ship prototype was designed adequate to operate compatible to the characteristics of high wavy border waters, as well as to support the operational patrol of border marine security and post-disaster handling. The design of the ship's 66 m headquarters with 2x155 HP power and the official speed of 12.5 Knot has been tested in the hydrodynamics laboratory model for ship powering, maneuvering, and sea-keeping capabilities with results conform to requirements of IMO.

Keywords: Headquarters ship design, border water security, post-aid Natural disaster, Bulbousbow,hydrodynamic laboratory test

*Diterima (recieved) : 15 Mei 2016, Direvisi (Revised) : 03 Oktober 2016, Disetujui (Accepted) : 27 November 2016*

## PENDAHULUAN

Wilayah perairan perbatasan Indonesia yang luas berseberangan dengan 10 negara tetangga (Philipina, Malaysia, Singapura, Vietnam, Thailand, India, Australia, Timor Leste, Palau, Papua Nugini) serta memiliki kurang lebih 92 pulau-pulau terluar merupakan salah satu aspek strategis nasional. Ditinjau dari sisi kedaulatan Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI), dari sisi pertahanan dan keamanan nasional, pemanfaatan sumberdaya alam serta sebagai referensi penentuan landas kontinen negara, kedudukan pulau terluar merupakan wilayah teritorial terdepan yang harus dipertahankan<sup>1)</sup>. Khususnya di wilayah perairan perbatasan bagian utara Provinsi Sulawesi Utara berbatasan dengan negara Philipina, disana terdapat pulau Marore dan pulau Miangas yang terpencil menjadi salah satu titik dasar batas wilayah Indonesia. Kondisi wilayah perairan perbatasan di bagian utara provinsi Sulawesi Utara merupakan perairan yang terbuka berhubungan langsung dengan perairan Samudera Pasifik, menjadikan titik rawan terjadi bencana badai gelombang tinggi dan Tsunami, posisi strategis ini ditunjukkan pada Gambar 1.



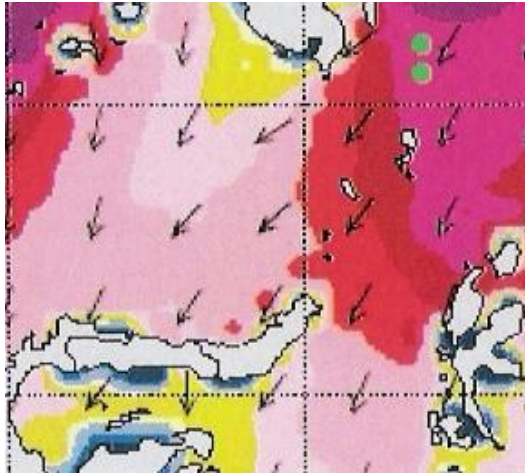
Gambar 1.

Lokasi P. Miangas dan P. Marore di Perairan Terbuka Perbatasan

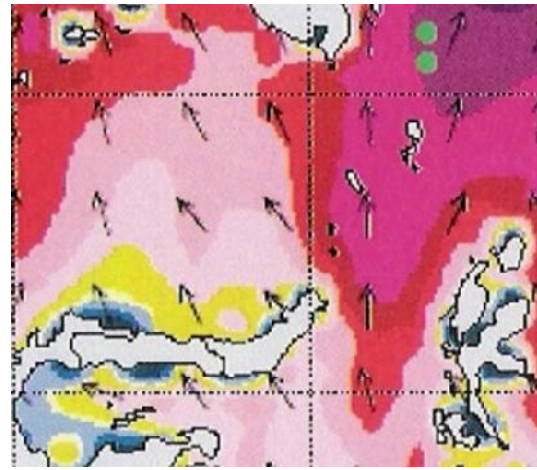
Perlu dipertimbangkan pula bahwa wilayah geografi Indonesia yang dikelilingi gunung berapi aktif, menjadi wilayah pertemuan tiga lempeng besar dunia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik berpotensi risiko rawan bencana gempa dan erupsi gunung berapi termasuk wilayah Sulawesi Utara terlingkup dalam rangkaian gunung berapi Indonesia. Dengan kondisi geografis seperti ini wilayah perairan perbatasan Sulawesi Utara memiliki potensi bencana alam yang cukup tinggi, antara lain gempa bumi, gunung meletus, badai tropis maupun tsunami, terutama dengan karakter serupa untuk kawasan pulau Miangas dan pulau Marore. Dengan kondisi seperti ini, penempatan pos satuan pengamanan perbatasan dan kehidupan masyarakat di wilayah pulau-pulau terluar ini juga sering mengalami kesulitan. Terlebih saat kondisi cuaca ekstrem dan bencana terjadi, dukungan transportasi logistik secara reguler untuk pos pengamanan perbatasan maupun untuk masyarakat menjadi salah satu kendala utama. Keterbatasan kapal laut pendukung suplai logistik yang mampu beroperasi pada cuaca ekstrem serta mahalnya biaya operasi kapal yang menyimpulkan pemikiran yaitu perlunya dilakukan perancangan kapal dengan karakteristik khusus untuk mendukung tugas operasional tersebut. Oleh karena itu, implementasi konseptual rancang bangun Kapal Markas sebagai pendukung operasional tugas patroli pengamanan juga berfungsi sebagai kapal pendukung logistik masyarakat dan penanganan pasca bencana alam untuk perairan perbatasan pulau-pulau terluar perlu dipertimbangkan. Kapal harus didisain sesuai karakteristik untuk beroperasi di perairan ekstrem perbatasan.

## Analisa Kondisi Permasalahan Kondisi perairan perbatasan

Wilayah perairan perbatasan di bagian utara Sulawesi Utara yang menghadap ke arah Samudera Pasifik merupakan perairan terbuka seperti yang terlihat pada Gambar 1. Rata-rata pada paruh tahun terjadi perbedaan intensitas gelombang yang menyolok<sup>2)</sup>.



Gambar 2a.  
Profil gelombang perairan utara Sulawesi  
Utara – bulan Januari



Gambar 2b.  
Profil gelombang perairan utara Sulawesi  
Utara – bulan Agustus

Pada bulan Januari-Februari intensitas arah gelombang dari perairan Samudra Pasifik masuk ke wilayah perairan Indonesia mengarah ke barat daya perairan Sangir-Talau. Umumnya kondisi perairan relatif agak tenang, meski memungkinkan terjadi rata-rata ketinggian gelombang bisa mencapai 2 – 3 meter mendekati daerah perairan Sulawesi Utara, sementara di perairan perbatasan disekitar pulau Marore dan pulau Mianggas sampai mencapai ketinggian 4 – 5 meter, sebagaimana terlihat pada Gambar 2a. Pada bulan Agustus-September kondisi perairan berubah lebih ekstrim, intensitas arah gelombang mengarah ke Samudera Pasifik kearah utara-barat laut perairan Sangir-Talau. Pada kondisi memasuki musim hujan, di perairan sekitar pulau Marore dan Miangas tinggi gelombang mencapai 5 meter lebih. Karakteristik perairan di sini cenderung ekstrim sebagaimana terlihat pada Gambar 2b.

#### **Bencana gunung berapi dan Tsunami di perairan perbatasan**

Wilayah geografis perairan di bagian utara Sulawesi Utara terdapat beberapa bentukan gunung berapi aktif yang berpotensi menimbulkan gempa bumi dan bencana tsunami<sup>3)</sup>.

Tabel.1.  
Kejadian Tsunami di Perairan Sulawesi  
Bagian Utara

Tahun	Sumber	Wilayah	Korban
1976	M8,1 Earth quake	SW Mindanau	4000
1918	M8,2 Earth quake	SW Mindanau	102
1871	Volcano, earth quake	Sulawesi Sea	400
1856	Volcano	Sulawesi Sea	100

Beberapa data kejadian gempa bumi yang menimbulkan tsunami seperti pada Tabel 1. Dari hasil beberapa prediksi simulasi terjadinya gempa bumi akibat tubrukan ataupun interseksi antar lempeng bumi maupun pertumbuhan gunung berapi di wilayah perairan bagian Utara Sulawesi Utara tercatat bahwa potensi sumber gempa akan terjadi di daerah perairan dangkal kedalaman < 6000 m namun dapat menimbulkan besaran gempa bumi sampai M 7,8. Hal ini dapat menimbulkan ketinggian ombak sampai dengan 4 m. Demikian juga dari hasil prediksi simulasi Tsunami yang terjadi di daerah garis pantai pulau pulau di bagian utara Sulawesi Utara ketinggian permukaan perairan dapat mencapai ketinggian melebihi 10m<sup>3)</sup>.



**Karakteristik Desain Kapal Markas untuk perairan perbatasan**

Kapal Markas dirancang sesuai dengan karakteristik kondisi operasional kapal di perairan perbatasan utara Sulawesi Utara. Kapal mampu beroperasi pada kondisi tinggi gelombang ekstrem dengan kemampuan olah gerak (*ship maneuvering*) dan kehandalan (*sea-keeping quality performance*) yang memenuhi persyaratan IMO. Untuk mendukung efektifitas kemampuan daya gerak kapal diperairan bergelombang, di bagian haluan kapal dipasang *bulbous bow* untuk membantu pengurangan hambatan gelombang pada kapal.

Kapasitas kapal dirancang mampu memuat keperluan transportasi satuan pengamanan dan perlengkapan satuan serta dukungan logistik perlengkapan operasi untuk penanganan bantuan pasca bencana di wilayah pulau terluar. Kecepatan dan jarak jelajah kapal dirancang cukup mampu beroperasi dari pangkalan TNI-AL di kota Bitung untuk mencapai jangkauan jarak jelajah penanganan lokasi darurat terjauh dalam waktu tidak lebih dari 3 hari.

Dalam perancangan Kapal Markas, kapal mempunyai 3 misi dasar/ peran utama, yaitu : (1) Kapal berperan sebagai kapal pendukung patroli reguler dalam wilayah perairan perbatasan, (2) Kapal menjadi sarana transportasi satuan pengamanan dan bantuan pengiriman logistik di wilayah pulau terluar perairan perbatasan, (3) Kapal menjadi sarana transportasi bantu untuk penanganan pasca bencana alam pada masyarakat dengan peran sebagai poliklinik darurat terapung pada satu wilayah pulau terluar perbatasan<sup>4)</sup>.

**BAHAN DAN METODE**

Metodologi perancangan Kapal Markas untuk patroli pengamanan , transportasi rotasi pasukan penjagaan dan dukungan penanganan pasca bencana pada daerah perairan Utara Sulawesi melalui tahapan :

**TAHAP (1)**

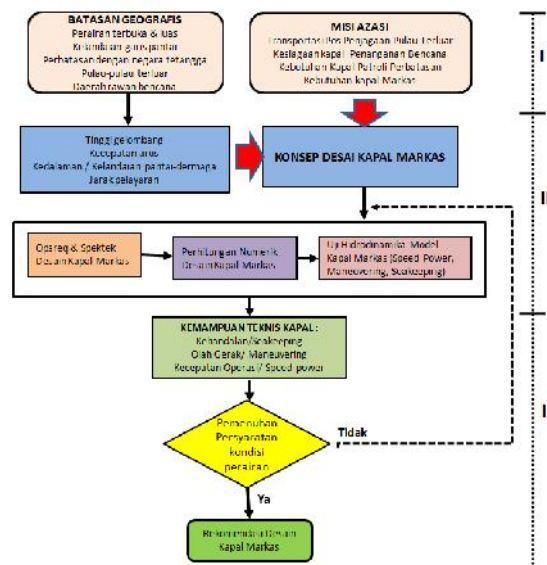
- ❑ Kajian misi azasi fungsi dan kebutuhan kapal markas multi guna
- ❑ Kajian batasan / konstrain faktor geografis daerah operasi kapal, kondisi perairan serta faktor geopolitis daerah perbatasan antar negara.
- ❑ Kajian khusus kondisi operasional perairan (Ombak, Arus laut)

**TAHAP (2)**

- ❑ Perancangan Konsep Kapal Markas dilanjutkan dengan kajian syarat Operational requirement (Opsreq) dan penyusunan spesifikasi teknis kapal Markas (Spektek)
- ❑ Kajian pada pradesain kapal melalui perhitungan numerik
- ❑ Kajian hasil pengujian hidrodinamika model kapal pada kolam uji (ship powering) dan pengujian numerik kemampuan olah gerak dan kehandalan kapal (ship maneuvering, sea-keeping)

**TAHAP (3)**

- ❑ Kajian kemampuan teknis kapal Markas serta membandingkan dengan kondisi perairan
- ❑ Hasil akhir rekomendasi karakteristik desain kapal yang memenuhi syarat



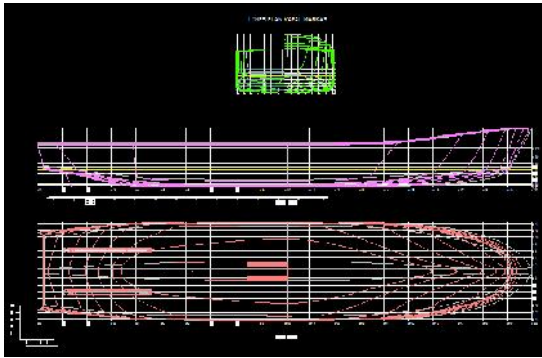
Gambar 3. Diagram Metodologi

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

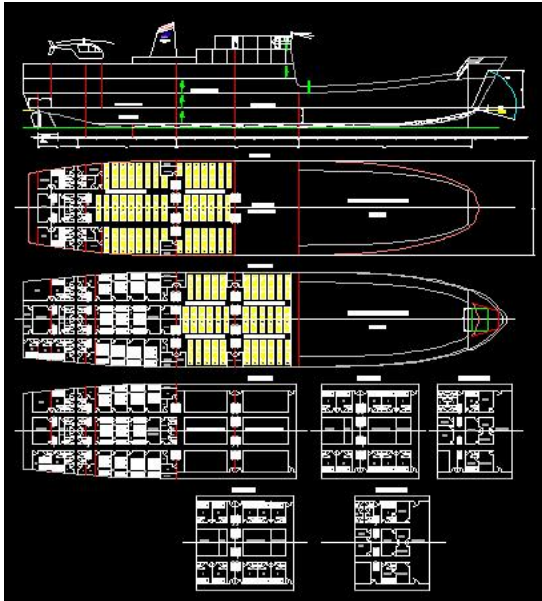
**Rancangan Kapal Markas Optimasi lambung haluan dan Tenaga penggerak kapal**

Rancangan dasar Kapal Markas untuk mendukung patroli pertahanan dan keamanan pulau terluar perairan perbatasan serta untuk bantuan penanganan pasca bencana alam pada masyarakat pulau terluar ditampilkan pada Gambar 4a *Lines plan* lambung kapal dan 4b *General*

arrangement Kapal Markas serta Ukuran Utama kapal ditampilkan pada Tabel 2.



Gambar 4a.  
Lines Plan Kapal Markas



Gambar 4b.  
General Arrangement Kapal Markas.

Dalam rancangan dasar lambung kapal diasumsikan kapal beroperasi di wilayah perairan tenang, sehingga bentuk haluan tidak dilengkapi *bulbousbow*. Selain itu, kapal dirancang dengan sarat air rendah dan lunas datar serta dilengkapi dengan pintu ram-door. Hal ini untuk memudahkan kapal beroperasi di wilayah perairan dangkal serta mudah merapat di pantai pasir (*beaching*).

Tabel 2.  
Ukuran Utama Kapal Markas

Notasi	Ukuran Utama	Nilai	Satuan
LOA	Panjang total kapal	73,66	m
LWL	Panjang garis air	67,45	m
LPP	Panjang batas kapal	66,76	m
B	Lebar kapal	14,46	m
H	Tinggi geladak	8,45	m
T	Sarat air	2,50	m
Cb	Koef. Bentuk	0,699	
Cp	Koef. Prismatic	0,753	
Cm	Koef. Midship/ tengah	0,928	
Disp	Volume /bobot kapal	1648	Ton
P	Tenaga penggerak	2 x 1500	HP
Vd	Kecepatan dinas	12,5	Knot

Lambung utama kapal dibuat dari material baja serta dikombinasikan dengan aluminium untuk bangunan atas. Hal ini untuk lebih memperingan struktur badan kapal namun tetap mempertahankan posisi titik berat kapal rendah untuk meningkatkan performansi stabilitas kapal. Bangunan atas kapal dirancang berkapasitas cukup untuk akomodasi dan pengangkutan peralatan bantu satuan pengamanan maupun dukungan penanganan bantuan pasca bencana alam. Geladak bangunan atas difungsikan sebagai ruang akomodasi 15 awak kapal, 200 orang untuk rotasi satuan pengamanan, yang juga dapat difungsikan untuk ruang rawat 30 paramedis/relawan serta disediakan 100 tempat tidur darurat untuk pasien (pelayanan darurat kesehatan pasca bencana)<sup>5)</sup>. Sistem tenaga penggerak kapal dirancang mampu menggerakkan kapal beroperasi dengan kecepatan dinas 12,5 Knot. Dengan menggunakan metode perhitungan hambatan kapal secara statistik yang dikembangkan oleh Holtrop dan J.Mennem<sup>6)</sup>, dengan persamaan :

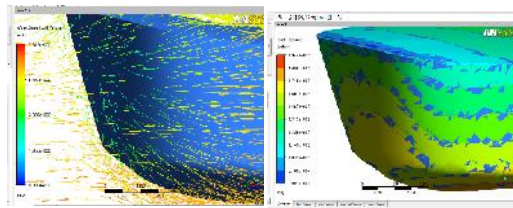
$$RT = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot CT \quad (1)$$

dimana : RT = tahanan total kapal (Kg); CT = koefisien tahanan total;  $\rho$  = massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ ); V = kecepatan kapal (m/s) S = luas lambung basah kapal ( $\text{m}^2$ )

Dapat dihitung daya efektif total mesin penggerak kapal, diperoleh sebesar 2 x 1500 HP. Kondisi daerah operasional kapal di wilayah perairan perbatasan cukup ekstrem dengan skala *sea-state* 3 s/d 5, maka untuk ekektifitas daya dorong sistem propulsi kapal guna mempertahankan kecepatan dinas rata-rata 12,5 knot, perlu ditambahkan pada haluan kapal bentuk bulbous bow yang optimum.

**Disain *Bulbous-bow* Kapal**

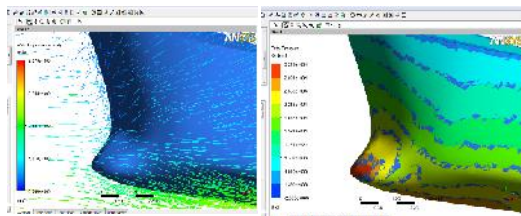
Penggunaan bentuk *bulbous-bow* yang optimum pada haluan kapal dapat mengurangi besar hambatan kapal karena efek gelombang. Sehingga secara langsung akan mengoptimalkan kinerja sistem propulsi kapal, yang pada akhirnya akan terkait erat dengan peningkatan efisiensi biaya bahan bakar pengoperasian kapal. Penggunaan CFD pada analisa rancangan bentuk *bulbous-bow* membantu evaluasi 3 tipe *bulbous-bow* yang paling optimal dalam mereduksi tahanan kapal, sebagaimana pada Gambar 5a, 5b, 5c dan 5d. Pada gambar tersebut ditampilkan degradasi warna, pola aliran dan distribusi tekanan fluida hidrodinamik pada bagian haluan kapal pada kecepatan dinas 12,5 knot<sup>7</sup>). Pada Gambar 5a. ditampilkan pola aliran dan distribusi tekanan fluida pada bentuk haluan kapal tanpa dilengkapi dengan *bulbous-bow*



Gambar.5a.

Pola Aliran dan Distribusi Tekanan Fluida – Kapal Non *Bulbous-Bow*

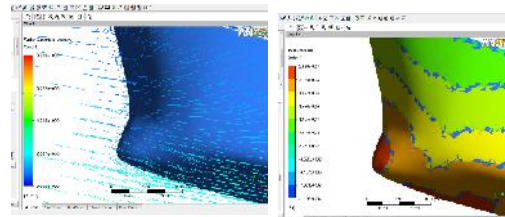
Pada Gambar 5b. ditampilkan pola aliran dan distribusi tekanan pada *Bulbous-bow* Tipe (1) pada bagian haluan model kapal.



Gambar.5b.

Pola aliran dan distribusi tekanan fluida - *Bulbous-bow* Tipe (1)

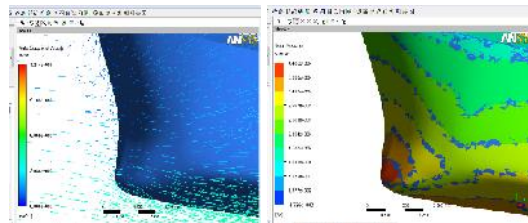
Pada Gambar 5c. ditampilkan pola aliran dan distribusi tekanan fluida pada bentuk *Bulbous-bow* Tipe (2) pada haluan kapal.



Gambar.5c.

Pola aliran dan distribusi tekanan fluida – *Bulbous-bow* Tipe (2)

Pada Gambar 5d. ditampilkan pola aliran dan distribusi tekanan pada *Bulbous-bow* Tipe (3) pada bagian haluan model kapal. Dari observasi bentuk dan pola aliran serta distribusi tekanan pada bulbous kapal dapat dianalisa perbandingan tahanan gelombang yang terjadi di kapal.



Gambar.5d.

Pola aliran dan Distribusi Tekanan Fluida – *Bulbous-Bow* Tipe (3)

Tabel 3. Perbandingan Hambatan Kapal

Kec. (Knot)	Hambatan Kapal Markas (kN)			
	Tanpa BB	BB Tipe 1	BB Tipe 2	BB Tipe 3
12.5	82.315	77.390	71.899	80.821
% Reduksi	0	5,98	12,65	1,81

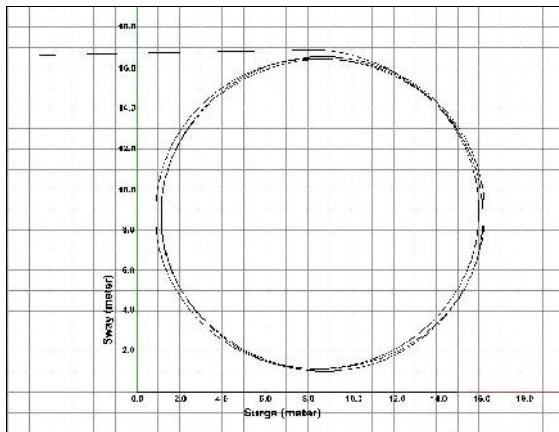
Pada Tabel 3 ditampilkan hasil evaluasi simulasi numerik CFD pada ke 3 bentuk tipe *bulbous-bow* yang dipasang pada haluan Kapal Markas. Tampak bahwa perbedaan besaran tahanan kapal antar variasi bentuk desain *bulbous-bow* kapal dipengaruhi oleh



pola aliran dan kerapatan distribusi tekanan fluida haluan kapal. Dari ke 3 tipe bulbous-bow yang dianalisa terlihat bentuk *Bulbous-bow* Tipe (2) yang paling optimal dalam reduksi hambatan total kapal, yakni sebesar 12,65 % dibanding bentuk tipe bulbous-bow yang lain.

### Kemampuan Olah Gerak Kapal

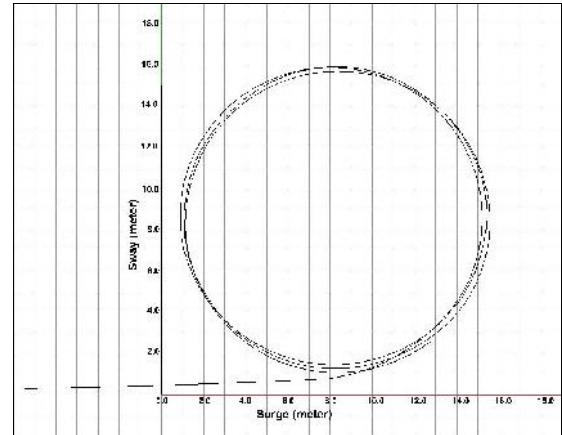
Kemampuan kapal untuk dapat berolah gerak dan sandar di dermaga terbatas pulau kecil, maka kemampuan Turning circle sangat diperlukan<sup>7)</sup>. Kemampuan kapal telah diuji pada Lab. Hidrodinamika. Kapal pada kondisi *full load* dengan kecepatan dinas 12 knot diuji membelok ke kanan (*starboard*) pada sudut kemudi  $35^{\circ}$  dan membelok ke kiri (*portside*) pada sudut kemudi yang sama<sup>9)</sup>. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa kemampuan olah gerak kapal cukup memenuhi persyaratan IMO<sup>9)</sup>. Grafik hasil uji olah gerak kapal ditampilkan pada Gambar 6a dan 6b.



Gambar 6a.

Model Lintasan Turning Circle SB,  $V_d = 12$ ,  
knot,  $\delta = 35^{\circ}$

Pada kondisi pengujian gerak memutar kapal ke kanan (*starboard*), rata-rata radius putar kapal relatif sama, diameter taktis (*Tactical diameter*) mencapai 161,56 m dengan rata-rata waktu tempuh melingkar  $T_{360} = 198$  detik.



Gambar 6b.

Model lintasan Turning circle PS,  $V_d = 12$ ,  
knot,  $\delta = 35^{\circ}$

Pada kondisi pengujian gerak memutar kapal ke kiri (*portside*), diameter taktis (*Tactical diameter*) mencapai 160,89 m dengan rata-rata waktu tempuh melingkar  $T_{360} = 197$  detik.

Tabel 4.  
Hasil Pengujian Turning Circle

PARAMETER	Rudder Angle	
	$35^{\circ}$ PS	$-35^{\circ}$ SB
Advance (m)	197,61	199,61
Transverse (m)	60,08	60,75
Tactical diameter (m)	160,89	161,56
Turning diameter (m)	122,17	122,17
Advance/Lpp	2,96	2,99
Transverse/Lpp	0,90	0,91
Tactical diameter/Lpp	2,41	2,42
Turning diameter/Lpp	1,83	1,83

Keseluruhan hasil pengujian simulasi Turning circle kapal ditampilkan pada Tabel 5. Terlihat bahwa pada parameter rasio didapat  $Advance/Lpp = 2,96$  &  $2,99$  dan rasio  $Tactical/Lpp = 2,41$  &  $2,42$  kedua hasil tersebut telah memenuhi kriteria standar olah gerak (*maneuver*) yang disyaratkan oleh IMO<sup>9)</sup>.

### Kemampuan Seakeeping kapal

Untuk mengetahui pola karakteristik performansi Kapal dan kinerja stabilitas dinamis kapal diatas gelombang laut pada kecepatan dinas serta untuk menganalisa kemungkinan masuknya air laut (*deck*

wetness) dari bagian bukaan (*opening*) diatas *free deck* (deck utama), maka perlu dilakukan pengujian seakeeping. Simulasi pengujian ini menggunakan perangkat lunak *Ship motion dynamic*. Dalam pengujian disini dianalisa parameter gerakan kapal yang signifikan dan paling dominan, yakni gerakan *rolling, pitching* dan *heaving* serta gerakan ekstrim kapal yang menyebabkan kondisi *deck wetness*.

Tabel 5.  
Karakteristik Gelombang untuk Uji Seakeeping

Tinggi Gelombang		Period [m]	Arah [deg]	Note
Siknif [m]	Maks [m]			
1,27	2,36	5,63	90, 135, 180	Moderate Seas
2,80	5,20	8,64	90, 135, 180	Extreme Seas

Karakteristik tinggi gelombang yang digunakan dalam pengujian adalah kondisi gelombang *sea-state* 3 dan 5 sebagaimana pada Tabel 5. Sedangkan spektrum gelombang yang digunakan adalah tipe *Pierson-Moskowitz* (P-M) <sup>(10)</sup>, yang diformulasikan sebagai berikut :

$$S_{\eta}(\check{S}) = A \cdot \check{S}^{-5} \cdot e^{-B \cdot \check{S}^{-4}} \tag{2}$$

dimana :  $S_{\zeta}(\omega)$  = *spectral density of wave heights*;  $\omega$  = *circular frequency (rad/sec)*;  $A = 172.8 * (\zeta_{w1/3})^2 * (T)^{-4}$ ;  $B = 691 * (T)^{-4}$ ;  $\zeta_{w1/3}$  = *significant wave height (meter)*;  $T$  = *average wave period (second)*

Hasil analisa simulasi numerik pengujian berupa *response amplitude operators* (RAOs) yaitu rasio amplitud gelombang (*wave amplitude*) terhadap amplitud masing-masing gerakan (*motion amplitude*) kapal (*Rolling, Pitching dan Heaving*) pada setiap frekuensi gelombang untuk kondisi *sea-state* 3 dan 5. Respon tersebut dirumuskan sebagai berikut :

$$H_u = \frac{u_a(\check{S}_e)}{r_a(\check{S}_e)} = \sqrt{\frac{S_{uu}(\check{S}_e)}{S_{\zeta\zeta}(\check{S}_e)}}$$

dimana :  $H_u$  = *response function of a signal u*;  $U_a(\omega_e)$  = *amplitude of frequency ( $\check{S}$ ) of signal u*;  $\zeta_a(\omega_e)$  = *amplitude of frequency  $\check{S}_e$  of wave elevation* ;  $S_{uu}(\omega_e)$  = *spectral density of signal u*;  $S_{\zeta\zeta}(\omega_e)$  = *spectral density of wave elevation* ‘

Tampilan respon RAO berupa grafik, ditampilkan pada data terlampir. Dari hasil evaluasi pengujian simulasi sea-keeping dapat diresumekan kondisi gerakan kapal (*Rolling, Pitching dan Heaving*) sebagai berikut :

- Gerakan rotasi oleng *Roll Motion* : Gerakan oleng dapat menimbulkan sudut dinamis yang besar diakibatkan energi atau gaya gelombang bahkan akan menimbulkan eksitasi *rolling motion* yang ekstrim pada kondisi frekuensi resonansi. Tampak bahwa pengaruh arah gelombang terhadap respon kapal cukup signifikan, yakni kondisi arah gelombang 90° (*beam seas*) pada *sea-state* 5, maksimum *significant amplitude "roll motion"* yang terjadi pada kapal sebesar 10.3 derajat (atau rms 5.02 derajat). Sedangkan respon kapal pada arah gelombang 135 ° (*bow quartering seas*) dan 180° (*head seas*) adalah sangat kecil yaitu 0.00- 2.22 derajat (atau rms 0.00- 1.11 derajat) jika dibandingkan standar "*Seakeeping Performance Criteria*"<sup>1)</sup> adalah rms (*root mean square*) max.: 9.6 derajat.
- Gerakan rotasi angguk *Pitch Motion* : Gerakan tersebut sangat dominan terjadi anggukan naik dan turunnya haluan maupun buritan kapal. Gerakan tersebut sangat tergantung pada kondisi gelombang, kecepatan kapal dan arah kapal terhadap gelombang. Hasil perhitungan memperlihatkan bahwa *maximum significant amplitude "pitch motion"* terjadi pada kondisi gelombang *Sea-state* 5 untuk arah gelombang 135 ° (*bow quartering seas*) yakni sebesar 2.34 derajat (atau rms 1.17 derajat). Sedangkan respon kapal pada arah gelombang 180 ° (*head seas*) dan 90 ° (*beam seas*) adalah relative lebih kecil yaitu 1.78 dan 1.93 derajat (atau rms 0.89 dan 0.96 derajat). Adapun standar "*Seakeeping Performance*

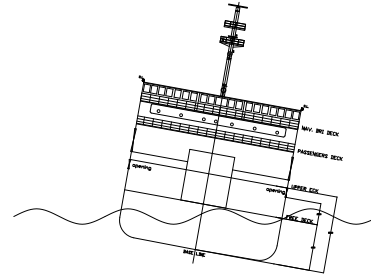
1) Principles of Naval Architecture: "Seakeeping Performance Criteria".

Criteria adalah rms (root mean square) max.: 1.5 derajat.

- Gerakan translasi vertikal *Heave Motion*: Gerakan vertikal naik dan turunnya badan kapal yang berkaitan erat dengan *pitch motion*. Maksimum *Significant amplitude "heave motion"* yang terjadi pada kapal yakni kondisi arah gelombang 90° (*beam seas*) pada *sea-state* 5, dimana maksimum *significant amplitude* yang terjadi pada kapal sebesar 1.32 m (atau rms 0.66 m). Sedangkan respon kapal pada arah gelombang 135° (*bow quartering seas*) adalah 1.206 m (atau rms 0.603 m), dan respon kapal pada arah gelombang 180° (*head seas*) lebih kecil yakni 0.872 m (atau rms 0.436 m).

#### Kemampuan deck-weetnes

Deck weetnes, masuknya air di atas geladak (deck) dari bukaan (opening) akibat eksitasi gelombang yang menyebabkan gerakan ekstrim kapal. Dari hasil perhitungan gerakan ekstrim kapal: *deck wetness* pada kondisi gelombang *seastate* 3 dan 5, terjadi kelimpahan/masuknya air pada geladak (deck) bila level air melewati freeboard efektif kapal atau bukaan pada lambung kapal. Pada desain Kapal Markas memiliki bukaan pada lambung (starboard – portside) kapal dengan ukuran tinggi 1.2 m, dengan jarak ketinggian bukaan dari garis dasar (*baseline*) / *keel* 9.1 meter, seperti pada Gambar 7. Hal ini menyebabkan kemungkinan air laut masuk dari bukaan pada lambung kapal bila kapal mengalami sudut oleng (rolling) lebih besar dari 22° (Gambar 7). Dari hasil perhitungan gerakan *seakeeping* kapal, khususnya saat gerakan *rolling* pada kondisi gelombang paling ekstrim (*seastate-5*) dan arah gelombang 90° (*beam seas*) hanya oleng sebesar 10°. Sedangkan sudut oleng yang memungkinkan air dapat masuk melalui bukaan (*opening*) tersebut adalah oleng 22°, berarti kemungkinan air masuk melalui bukaan (*opening*) tidak terjadi. Hasil perhitungan terjadinya *deck wetness* disajikan dalam nilai probabilitas, Hal ini memperlihatkan bahwa terjadinya *deck wetness* pada kapal adalah 0 % pada kondisi gerakan ekstrim kapa.



Gambar 7.  
Model Gerakan Ekstrem Kapal Dan Kelimpahan Geladak (Deckweetnes)

#### SIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa rancang bangun kapal markas sangat diperlukan guna difungsikan sebagai sarana transport dukungan pengamanan pulau-pulau terluar demi kedaulatan NKRI, melalui angkutan rotasi petugas keamanan/ TNI. Oleh karena itu, pengoperasian Kapal Markas bersinergi untuk mendukung operasi bantuan pasca bencana alam bagi masyarakat kepulauan terluar melalui angkutan distribusi logistik, penyediaan sarana poliklinik darurat terapung maupun sebagai markas komando operasional darurat. Salah satunya dengan membuat kapal markas yang dirancang mampu beroperasi sesuai karakteristik wilayah perairan terluar pada kondisi ekstrim hingga *seastate* 5 dimana unjuk kerja desain Kapal Markas telah teruji di Laboratorium Hidrodinamika dan memenuhi kriteria yang disyaratkan oleh IMO

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kemenristek Dikti yang memberikan program riset insentif Kemenristek TA 2010 – 2011 serta Dislitbang TNI AL, Pusat Penanganan Bencana, dan Kementerian Kesehatan yang berperan sebagai narasumber. Selain itu, kami mengucapkan terima kasih kepada BPPH BPPT – Surabaya untuk uji hidrodinamika model kapal di lakukan di kolam *Towing Tank*.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Nazarudin, "Model penanganan pulau terluar berdasarkan konsep Prosperity dan Security Approach oleh TNI", *Jurnal Litbang Pertahanan Indonesia – Balitbang Kemhan*, Vol. 15, No. 2, 2012
2. *Peta data arah dan ketinggian Gelombang Perairan Indonesia*, BMKG, 2009
3. Lovholt, F., Khun, D., Bungum H., Harbitz C.B., dan Glimsdal,S., "Historical Tsunamis and Present Tsunami Hazard in Eastern Indonsia and the South Philippines", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 117, B09310, doi:10.1029/2012JB009425, 2012.
4. Samudro, Abdul Kadir, "Rancangan Konseptual Ganda Kapal Markas Untuk Pengamanan Pulau Pulau Terluar – Perairan Perbatasan NKRI (Tinjauan untuk wilayah perairan pulau Marore dan Miangas)", *Jurnal Warta Penelitian Perhubungan, Balitbang Kementerian Perhubungan*, Vol. 26, No. 1. 2014.
5. Kadir, A., Samudro, Waluyo,. Priatno, D.H, Akhirudin, M., *Laporan Riset Rancang Bangun Kapal Markas*, Pusat Teknologi Industri dan Sistem Transportasi, BPPT, 2011.
6. Harvald, Sv.Aa, *Tahanan dan Propulsi Kapal*, Airlangga University Press, Surabaya, 1992.
7. Jamaluddin A.dan Samudro, *Analisa dan Evakuasi Faktor Faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Olah Gerak (Maneuver) Kapal*, Jurnal Perhubungan Vol. No. , 2010.
8. Laboratorium Hidrodinamika Indonesia, *Laporan Hasil Pengujian Turning Cicle dan Sea-keeping Model Kapal Markas*, UPT BPPH – BPPT, 2011.
9. International Maritime Organization (IMO), "Manoeuvrability of Ships and Manoeuvring Standards", *Sub - Committee on Ship Design and Equipment 36th session, Agenda item 4*, 24 February 1993.
10. Pierson, W.J. dan Moskowitz, L. , "A proposed spectral form for fully developed wind seas based on similarity theory of S.A. Kitaigorodskii",

## PENENTUAN TEMPERATUR OPERASIONAL "ROD HANGER TUBE HEATER" AGAR MENCAPAI UMUR OPERASI DESAIN

### DETERMINATION THE OPERATING TEMPERATURE "HANGER ROD OF HEATER TUBE" IN ORDER TO ACHIEVE THE LIFE OF OPERATION DESIGN

**Hadi Sunandrio**

Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) - BPP Teknologi  
Kawasan PUSPIPTEK - Setu - Tangerang Selatan 15314 - Banten  
Telp. : 021-7560562 ext. 6054, Fax. : 021-7560903  
Email : hadisunandrio@yahoo.com

#### Abstrak

*Rod Hanger Tube Heater yang sudah beroperasi sekitar  $\pm 7$  bulan akan tetapi belum dilengkapi dengan best practice berapa lama MTBF (Mean Time Between Failure) atau Life Time nya. Oleh karena itu dibutuhkan pengujian untuk mengetahui berapa sebenarnya Life Time dari Rod Hanger, yang nantinya akan menjadi acuan MTBF dari Rod Hanger tersebut. Pada tulisan ini akan disajikan suatu hasil pengujian mulur (creep test) dari Rod Hanger, yang kemudian diekstrapolasi sehingga akan menghasilkan grafik LMP vs tegangan, yang merupakan kombinasi tiga parameter yaitu waktu (time to rupture), logaritma tegangan dan suhu operasi menjadi satu kurva yang disebut Kurva Master Larson-Miller Parameter (LMP Master Curve). Selanjutnya parameter ini dapat digunakan untuk menghitung umur pakai Rod Hanger yang dioperasikan pada suhu tinggi, dengan menggunakan persamaan Larson-Miller Parameter (LMP)*

**Kata kunci** : Rod Hanger, Pengujian Mulur, Larson-Miller Parameter, Umur Pakai

#### Abstract

*Rod Hanger of Tube Heater that has been operated for  $\pm 7$  months has not been completed with best practice of MTBF (Mean Time Between Failure) time or Life Time. That is why it is needed to find out real life time of the rod hanger, that will be used as the reference data of MTBF for the rod hanger. In this article it is presented the result of creep test of the rod hanger, which then extrapolated to obtain LMP vs Stress diagram as the combination of three parameters, i.e. time (time to rupture), logarithms of stress and operational temperature in a curve which is called Master Curve of Larson - Miller Parameter (LMP Master Curve). Further more, the parameter is used to calculated useful life of rod hanger for high temperature operation, with the equation of Larson - Miller Parameter.*

**Key words** : Rod Hanger, Creep Test, Larson-Miller Parameter, Life Time

Diterima (received) : 12 November 2016, Direvisi (Revised) : 22 November 2016,  
Disetujui (Accepted) : 4 Desember 2016

#### PENDAHULUAN

Rod Hanger Tube Heater yang menggunakan material ASTM A 608 Grade HK 40 sudah beroperasi sekitar  $\pm 7$  bulan akan tetapi belum dilengkapi dengan best

practice berapa lama MTBF (Mean Time Between Failure) atau Life Time nya.

Oleh karena itu dibutuhkan pengujian dan pemeriksaan untuk mengetahui berapa sebenarnya umur pakai (life time) dari Rod Hanger tersebut.

Dalam mendisain suatu komponen yang beroperasi pada suhu tinggi umumnya umur operasinya di disain 100.000 jam (11,57 tahun) dan tentunya harus dioperasikan dalam kondisi aman.<sup>1) 2)</sup>

Akan tetapi pada kenyataannya banyak komponen yang mengalami rusak sebelum umur operasinya tercapai, sehingga mengakibatkan kerugian dan kecelakaan yang cukup besar.

Oleh karena itu untuk mengantisipasi hal tersebut, maka perhatian industriawan yang bergerak dalam bidang perminyakan atau petrokimia, keamanan dan kelayakan operasi terhadap suatu peralatan atau komponen, berkembang kearah tinjauan terhadap umur operasi disain agar mencapai 100.000 jam.<sup>1) 2)</sup>

Untuk mengoptimalkan agar umur operasi desain mencapai 100.000 jam maka salah satu komponen dari Tube Heater pada Unit Pengolahan Minyak Mentah yaitu Rod Hanger perlu dilakukan pemeriksaan dan pengujian, tentunya harus mengikuti tata cara pengoperasian peralatan tersebut yang telah dicantumkan pada Standard Operational Procedure (SOP). Tata cara ini harus dilaksanakan sebaik - baiknya, dan tentunya dengan dukungan alat kontrol suhu, tekanan dan gaya yang benar dan akurat.<sup>1) 2)</sup>

Kemudian untuk mengkaji dan mengetahui umur operasi dari Rod Hanger Tube Heater dibutuhkan suatu teknik yang sudah standar dan diakui, agar hasil pengkajiannya lebih akurat dan terpercaya.

Kerusakan akibat suhu tinggi dalam kurun waktu yang cukup lama, tanpa adanya kesalahan pengoperasian (SOP), biasanya terjadi akibat pengaruh creep atau mulur.<sup>1) 2)</sup>

Rod Hanger Tube Heater akan terdeformasi secara kontinu dan perlahan-lahan dalam kurun waktu yang lama, apabila dibebani secara tetap. Laju regangan creep tergantung pada waktu dan suhu serta pembebanan yang konstan.

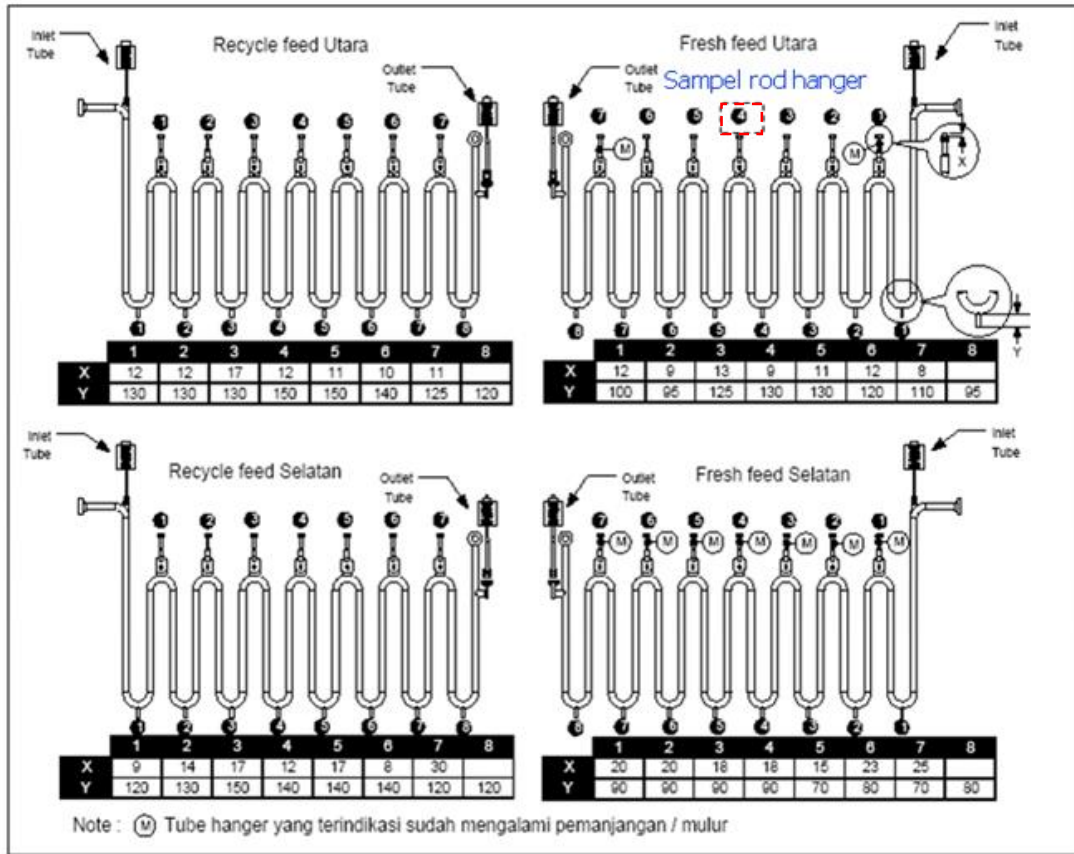
Proses kerusakan akibat creep terjadi pada suhu tinggi atau yang mendekati suhu cair suatu bahan. Proses kerusakan creep pada bahan biasanya terjadi pada suhu yang berada pada 0,4 ÷ 0,5 kali titik cair dalam derajat kelvin atau biasanya dinyatakan

dengan  $0,4 \div 0,5 T_m$  dan terjadi akibat adanya peregangan butiran atau struktur pada suhu tinggi dalam waktu yang lama pada kondisi pembebanan konstan.<sup>1) 2)</sup>

Jadi tujuan dilakukannya pemeriksaan dan pengujian ini adalah untuk mengetahui kehandalan (*reliability*) dan memprediksi umur pakai dari Rod Hanger, yaitu meliputi pemeriksaan metalografi (struktur mikro), komposisi kimia, uji kekerasan dan uji creep. Dari hasil pemeriksaan dan pengujian tersebut maka akan dapat diprediksi umur pakai (*life time*) dari material Rod Hanger, yang nantinya akan menjadi acuan berapa lama *MTBF (Mean Time Between Failure)* atau *Life Time* dari Rod Hanger tersebut.

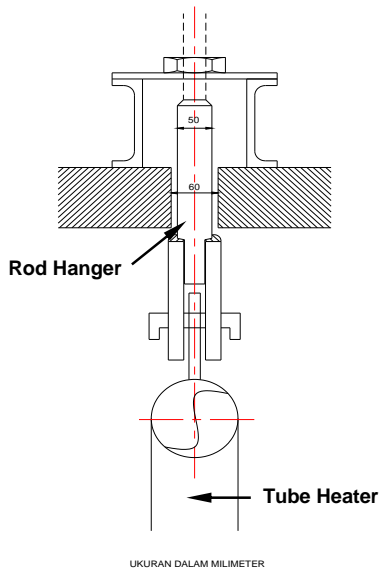


Gambar 1.  
Foto Unit Heater di salah satu kilang pengolahan



Gambar 2.

Latak dan susunan tube yang berada di dalam Heater serta lokasi dari Rod Hanger yang akan dilakukan pemeriksaan dan pengujian.



Gambar 3.

Letak dan susunan Rod Hanger terhadap Tube Heater.

## BAHAN DAN METODE

### BAHAN

Rod Hanger yang akan di prediksi temperatur operasinya agar mencapai umur disain yaitu 100.000 jam menggunakan bahan / material ASTM A 608 Grade HK 40, dengan data pendukung sebagai berikut:

- ) Objek : Hanger Rod
- ) Material : HK 40
- ) Diameter ( D ) : 50 mm = 5 cm
- ) Beban ( P ) :  $\Psi$  47000 N } 4796 kg
- ) Tegangan (  $\Xi$  ) : 245 kg/cm<sup>2</sup> } 24 MPa
- ) Bridge Wall Temperature Actual Maksimum (Temp. Operasi) : 827 °C
- ) Temperature : 93 °C atau 1500 °F
- ) Allowable Stress Rod : 5.17 MPa (pada 793°C - ASME II).<sup>3)</sup>
- ) Operating Pressure Tube Arrangement : 190 kg/cm<sup>2</sup>



## METODE

Metode penelitian ini datanya akan dipergunakan untuk pengkajian dan memprediksi temperatur operasi Rod Hanger agar mencapai umur disain, meliputi:

Pemeriksaan Metalografi dengan menggunakan mikroskop optik "*Metalloplan*" (mengacu pada ASTM E 407) : Untuk mengamati struktur makro dan mikro serta mengamati kemungkinan adanya cacat mikro yang tidak terdeteksi oleh alat lain.

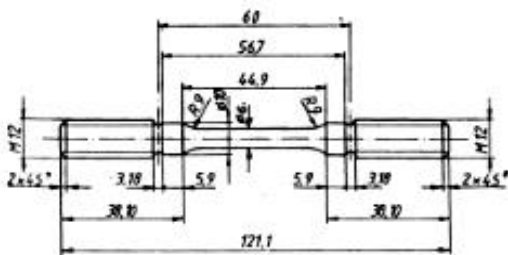
Pemeriksaan Komposisi Kimia menggunakan alat "OES Metorex Arc-Met 930" (mengacu pada ASTM A 751) : Untuk meneliti kandungan elemen yang ada pada material dasar dari Rod Hanger.

Pengujian Kekerasan menggunakan alat "*Frank Finotest*" (mengacu pada SNI 19-0406) : Untuk mengevaluasi perubahan nilai kekerasan yang terjadi setelah beroperasi.

Pengujian Mulur (*Stress Rupture Test / Creep Test*) menggunakan mesin Creep: Untuk mendapatkan nilai kombinasi tiga parameter yaitu waktu (*time to rupture*), logaritma tegangan dan suhu operasi menjadi satu kurva yang disebut Kurva Master **Larson - Miller Parameter** (LMP Master Curve). Dari parameter tersebut nantinya akan dapat digunakan untuk memprediksi temperatur operasional Rod Hanger Tube Heater agar mencapai umur operasi 100.000 jam.<sup>4)</sup>



Gambar 4.  
Sampel Rod Hanger yang digunakan untuk pemeriksaan struktur mikro, analisa komposisi kimia, uji kekerasan dan uji creep



Gambar 5.  
Dimensi benda uji berdasarkan standar mesin uji creep<sup>5)</sup>

Benda uji yang telah selesai dibuat, kemudian diuji dengan menggunakan mesin uji *creep* (lihat gambar 6), dengan jumlah benda uji minimal 5 sample.

Pada saat pengujian, data yang dibutuhkan adalah suhu, dan beban pengujian. Sebelum pembebanan dilakukan, benda uji harus dipanaskan hingga mencapai suhu konstan selama 24 jam (sesuai standar ASTM E139-70).<sup>5)</sup>



Gambar 6.  
Bentuk mesin uji *creep* yang ada di B2TKS - BPPT

Untuk memprediksi umur operasi rod hanger tube heater, salah satu cara yang terbaik atau yang sering digunakan adalah dengan menggunakan persamaan "**Larson - Miller**" **Parameter (LMP)**. Dari persamaan ini dapat dengan mudah dihitung umur operasi Rod Hanger tube heater, melalui **kurva master LMP vs log.†** (tegangan).<sup>4)</sup>

$$LMP = (T \text{ } ^\circ\text{C} + 273) (C + \log t_r) 10^{-3} \quad (1)$$

Persamaan Larson - Miller Parameter dikembangkan berdasarkan penjabaran lebih lanjut dari persamaan laju tipe *Arrhenius*, yang menyatakan bahwa *creep* merupakan proses aktivasi tunggal yang terjadi pada suhu antara  $0,4 \div 0,5 T_m$ .<sup>1) 2)</sup>

Menurut Larson - Miller Konstanta C merupakan hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai C berkisar antara 15 sampai dengan 30, tergantung pada jenis bahan yang digunakan atau yang dipakai, dan berdasarkan standar "*API Recommended Practice 530*", ditetapkan bahwa untuk baja Carbon Steel nilai C = 20.<sup>4)</sup>

## HASIL DAN PEMBAHASAN

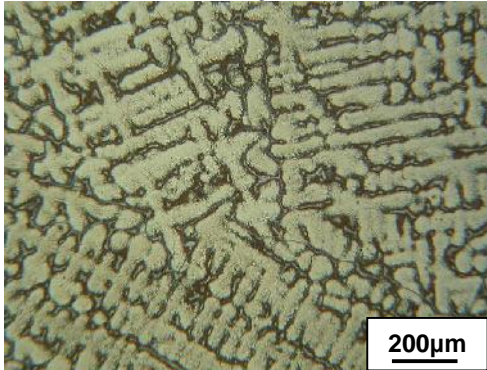
### Hasil Pemeriksaan dan Pengujian

Adapun pemeriksaan dan pengujian yang dilakukan terhadap Rod Hanger meliputi: pemeriksaan metalografi (struktur mikro), pemeriksaan komposisi kimia, uji kekerasan dan uji creep. Data dari hasil pemeriksaan dan pengujian tersebut nantinya akan dapat digunakan untuk mengidentifikasi material rod hanger, apakah telah sesuai dengan material ASTM A 608 Grade HK 40.

Sedangkan data dari hasil uji creep dapat digunakan untuk memprediksi umur operasi Rod Hanger agar mencapai 100.000 jam.

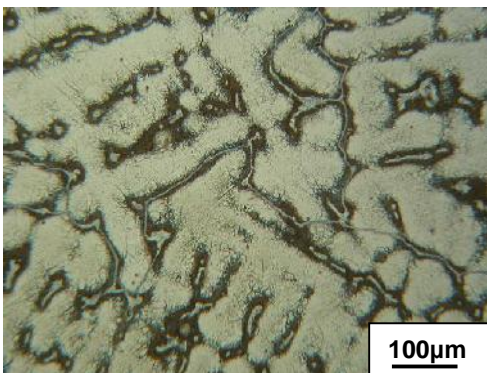
### Hasil Pemeriksaan Metalografi

Pemeriksaan metalografi dilakukan bertujuan untuk mengetahui kondisi struktur mikro material Rod Hanger.



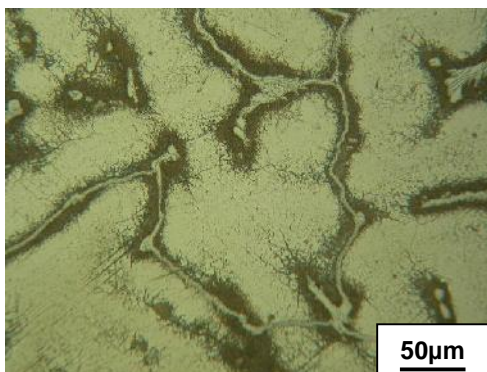
Gambar 7.

Struktur mikro potongan melintang Rod Hanger berupa austenitik sebagai matriks utamanya. Etsa : Kalling's Reagent.



Gambar 8.

Perbesaran dari gambar 7.



Gambar 9.

Perbesaran dari gambar 8.

Dari hasil pemeriksaan metalografi di dapat struktur mikro berupa austenitik sebagai matriks dengan karbida menyerupai pulau-pulau tersebar (*scattered island*) hampir membentuk jaringan (*network*), lihat gambar 7 s/d 9.

### Hasil Analisa Komposisi Kimia

Berdasarkan hasil analisa komposisi kimia terhadap material Rod Hanger telah memenuhi standard material ASTM A 608 Grade HK 40. Hasil analisa komposisi kimia dapat di lihat pada table 1 dibawah ini:

Tabel 1.  
Hasil Analisa Komposisi Kimia

Unsur	Result ( % wt )	Standard ASTM A 608 Grade HK 40
C	0.367	0.35 - 0.45
Si	1.019	0.50 - 2.00
Mn	1.083	1.50 (max.)
Ni	20.683	19.00 - 22.00
Cr	24.716	23.00 - 27.00
Mo	0.295	0.50 (max.)
S	0.005	0.04 (max.)
P	0.019	0.04 (max.)

Sumber Data : Standard ASTM A 608, "Specification for Centrifugal Cast Iron Chromium Nickel High Alloy Tubing for Pressure Application at High Temperatures".<sup>6)</sup>

### Hasil Uji Kekerasan

Berdasarkan hasil uji kekerasan terhadap material Rod Hanger telah memenuhi standard material ASTM A 608 Grade HK 40. Hasil pengujian kekerasan dapat di lihat pada table 2 dibawah ini:

Table 2.  
Hasil Pengujian Kekerasan

No	Nilai Kekerasan dalam HV	Standard ASTM A 608 Grd. HK 40
1.	206	160 HV - 250 HV
2.	199	
3.	210	
4.	210	
5.	206	

Rata-rata = 206.2

Sumber Data : Standard ASTM A 608, "Specification for Centrifugal Cast Iron Chromium Nickel High Alloy Tubing for Pressure Application at High Temperatures".<sup>6)</sup>

2	3.10	500	323.70	16.26
3	3.13	550	280.79	16.75
4	3.14	600	192.64	17.42
5	3.17	650	132.28	18.18

**Hasil Pengujian Creep**

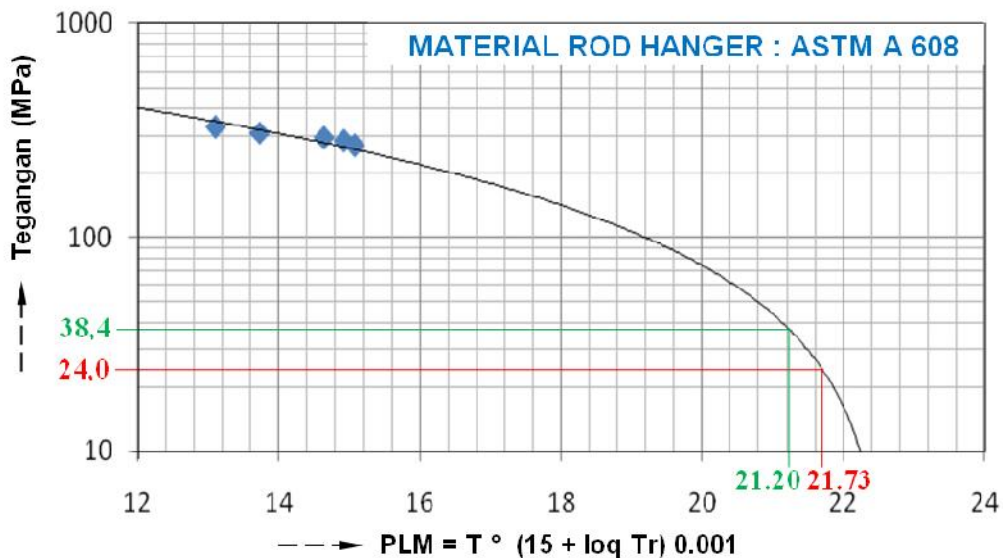
Hasil pengujian creep terhadap material Rod Hanger dapat dilihat pada table 3 dibawah ini:

Tabel 3.  
Hasil Uji Creep dan Perhitungan LMP

No	Do (mm)	Temp (°C)	Tegangan (MPa)	LMP
1	2.88	450	421.78	15.32

Berdasarkan hasil pengujian creep yang disajikan pada table 3, kemudian diekstrapolasi sehingga menghasilkan grafik LMP vs Tegangan, seperti ditunjukkan pada gambar 10, yang merupakan kombinasi tiga parameter yaitu waktu (*time to rupture*), logaritma tegangan dan suhu operasi menjadi satu kurva yang disebut Kurva Master Larson-Miller Parameter (*LMP Master Curve*).<sup>4)</sup>

**GRAFIK UJI CREEP  
MATERIAL ROD HANGER HEATER 211-H-1 FF**



Gambar 10.  
Grafik LMP vs Tegangan hasil pengujian creep Rod Hanger.

**PEMBAHASAN**

Larson-Miller Parameter, merupakan suatu persamaan yang menghubungkan antara suhu operasi (T) dengan umur (*time to rupture* = *t<sub>r</sub>*) dan secara empiris dikemukakan oleh Larson-Miller. Parameter ini dapat digunakan untuk menghitung sisa umur material yang dioperasikan pada suhu tinggi dengan cara meng-ekstrapolasi data hasil pengujian *accelerated creep* dan memotongkan data hasil perhitungan tegangan nominal dalam *master curve* LMP. Proses ekstrapolasi pada kurva tersebut harus tetap dilakukan bila ingin menghitung

kemungkinan umur pakai suatu rod hanger yang dioperasikan pada suhu tinggi, mengingat bahwa umur disain suatu rod hanger adalah 100.000 jam pada tegangan disain yang telah ditentukan, dan pada saat pengujian dilakukan percepatan kerusakan creep (*accelerated creep test*), yaitu dengan pembebanan atau pemberian tegangan yang jauh lebih besar dari tegangan disain dan diusahakan waktu pengujiannya sependek mungkin, tapi tetap representatif.<sup>7)8)</sup>

Hasil ekstrapolasi ini kemudian dipotongkan dengan nilai tegangan nominal yang tercantum pada data teknik Rod Hanger adalah sebagai berikut :

Diketahui :

- ↳ Load (P) : 47000 N } 4796 kg
- ↳ Diameter Rod (D) : 5 cm

Perhitungan stress yang terjadi adalah:<sup>9)</sup>

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

$$= \frac{4796}{19,625} = 244,4 \text{ kg/cm}^2 \text{ } \} \text{ 24 MPa}$$

Kemudian untuk menjamin keakuratan perhitungan kemungkinan sisa umur, tegangan nominal design 24 MPa dikalikan dengan faktor keamanan (*safety factor*) sebesar 1,6 dan hasilnya adalah 38,4 MPa.

Faktor ini merupakan akumulasi terjadinya fraksi umur (*life fraction*) akibat pengaruh korosi, oksidasi, dan karburisasi yang akan dialami oleh tube tersebut pada saat beroperasi. Akan tetapi faktor ini tidak mempunyai kontribusi dengan kesalahan operasional, misalnya terjadi pendinginan yang sangat cepat pada saat di stop, adanya *hot spot* pada titik tertentu dalam *heater* akibat kontrol yang kurang memadai, dan laju pemanasan yang sangat cepat pada saat di *start-up*.<sup>10)11)</sup>

Hasil perpotongan antara garis tegangan dan grafik hasil pengujian kemudian ditarik garis ke arah sumbu X (lihat Gambar 10, Grafik PLM vs Tegangan), maka diketahui nilai PLM adalah :

Tabel 4.  
Perhitungan estimasi temperatur operasi Rod Hanger agar mencapai umur disain 100.000 jam.(untuk tegangan aktual operasi)

No	Temp. ( °C )	Tegangan ( MPa )	PLM	Prediksi Umur		
				( Jam )	( Bulan )	( Tahun )
1	700	24.00	21.73	21,527,358.85	29,899.11	2,491.59
2	725	24.00	21.73	5,936,727.22	8,245.45	687.12
3	750	24.00	21.73	1,743,599.46	2,421.67	201.81
<b>4</b>	<b>787</b>	<b>24.00</b>	<b>21.73</b>	<b>316,227.77</b>	<b>439.20</b>	<b>36.60</b>
5	793	24.00	21.73	242,446.20	336.73	28.06
6	827	24.00	21.73	56,825.79	78.92	6.58
7	850	24.00	21.73	22,384.92	31.09	2.59

Tabel 5.  
Perhitungan estimasi temperatur operasi Rod Hanger agar mencapai umur disain 100.000 jam (untuk tegangan dengan faktor keamanan 1,6)

No	Temp. ( °C )	Tegangan x 1.6 ( MPa )	PLM	Prediksi Umur		
				( Jam )	( Bulan )	( Tahun )
1	700	38,40	21,20	6,141,630.14	8,530.04	710.84
2	725	38,40	21,20	1,387,664.79	1,927.31	160.61
3	750	38,40	21,20	528,886.72	734.56	61.21
<b>4</b>	<b>787</b>	<b>38,40</b>	<b>21,20</b>	<b>100.000</b>	<b>138,89</b>	<b>11,57</b>
5	793	38,40	21,20	77,166.65	107.18	8.93
6	827	38,40	21,20	18,738.17	26.03	2.17
7	850	38,40	21,20	7,551.02	10.49	---

Dari hasil perhitungan pada tabel 5 dapat diprediksi bahwa umur pakai (*life time*) dari Rod Hanger akan mencapai 100.000 jam dengan faktor keamanan (*safety factor*)

sebesar 1,6, bila dioperasikan pada tegangan operasi sebesar 38,4 MPa (391,57 kg/cm<sup>2</sup>) dan temperature operasi sebesar 787 [C. Hasil perhitungan tersebut dapat digunakan

sebagai acuan berapa lama *MTBF (Mean Time Between Failure)* atau *Life Time* dari Rod Hanger.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian terhadap *rod hanger*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

Struktur mikro Rod Hanger berupa austenitik sebagai matriks dengan karbida menyerupai pulau-pulau tersebar (*scattered island*) hampir membentuk jaringan (*network*).

Material Rod Hanger sesuai dengan spesifikasi standard material ASTM A608 Grade HK 40.

Perhitungan estimasi temperatur dan tegangan operasi yang merupakan perkiraan umur pakai dari Rod Hanger dapat dilihat pada table 4 dan 5.

Sehingga dapat diprediksi bahwa umur pakai Rod Hanger akan mencapai 100.000 jam bila dioperasikan pada tegangan 38,4 MPa (391,57 kg/cm<sup>2</sup>) dan temperatur 787 [C.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Agus Suhartono yang telah meluangkan waktunya untuk berdiskusi, memberikan kritik dan saran yang berkenan dengan tulisan ini. Dan penulis juga tak lupa mengucapkan terima kasih kepada bapak Sutarjo, bapak Aswandi dan bapak Daud yang telah banyak membantu memberikan data - data hasil pengujian.

## DAFTAR PUSTAKA

1. R. Viswanathan, 2012, "*Damage Mechanisms and Life Assessment of High-*

- Temperature Components*", ASM International, Metals Park, Ohio.
2. J.M Bear, and A Akermad, 1998, "*Probabilistic Remanent Life Assesment of Platformer Fired Heater Tubes*", Final Report.
  3. An Internatiol ASME Code Section II Part A, 2010, "*Ferrous Material Specifications*", ASME Boiler and Pressure Vessel Committee on Materials, Three Park Avenue, New York, 10016 USA.
  4. API Recommended Practice 530, 2012, "*Recomended Practice for Calculation of Heater Tube Thickness in Petroleum Refineries*", Washington, D.C.
  5. Annual Book of ASTM Standards Volume 03.01 E 139, 2015, "*Standard Test Methods of Conducting Creep, Creep-Rupture and Stress-Rupture Test of Metallic Materials*", American Society for Testing and Materials, 1916 Race St, Philadelphia.
  6. ASTM A 608 Grade HK 40 "*Centrifugally Cast Iron Chromium Nickel High Alloy Tubing for Pressure Application at High Temperatures*
  7. Garofalo, Frank, 2000, "*Fundamental of Creep and Creep Rupter in Metal*", Macmillan, New York.
  8. Japan Mech. Eng, Assc. 1999, "*Technique for Remaining Life Assessment*", Gihodo Publisher, Tokyo
  9. George E. Dieter, 2000, "*Mechanical Metallurgy*", Mc. Graw-Hill Book Company, New York.
  10. B.J Cane and John W., 1998, "*Remaining Life Assesment Seminar*", ERA Techonology Leatherhead-UK.
  11. Haryadi, Mukson, 2010, "*Penerapan Metoda RLA Terhadap Komponen Kritis dari Refinery / Petrochemical Plant*", Bimbingan Keahlian Teknik Inspeksi Lanjutan,.



# JUDUL MAKALAH UNTUK MAJALAH PENGAJIAN INDUSTRI

(DALAM Bhs. INDONESIA & INGGRIS CENTER, HURUF Arial-14)

Sub Judul Ditulis Disini (Dari sini kebawah gunakan Arial12)

**Nama Penulis** (center, dari sini ke bawah Arial 10)  
Tempat & alamat bekerja, telepon/fax, e-mail.

**Nabila<sup>a</sup>, Farhan<sup>b,c</sup>**

<sup>a</sup> Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Kalbar, Jl.Kapuas no.6, Pontianak 78112.  
e-mail : nabila\_g@yahoo.com

<sup>b</sup> Laboratorium Teknologi Proses, Deputi Bidang TIRBR, BPPT.

<sup>c</sup> Dosen Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Depok, Depok  
e-mail : farhan\_i@yahoo.com

## Abstract

(Dalam bahasa Indonesia dan Inggris)

*Disini anda diminta untuk menjelaskan hal yang telah dilakukan, hasil utama dan kesimpulan makalah saudara secara jelas dan singkat dalam bahasa Inggris. Jumlah kata tidak lebih dari 200 kata. (Jarak tulisan kesisi kiri 5 cm dan kesisi kanan 4,5cm, ditulis 1 spasi, italic) Abstrak ditulis dalam bahasa Indonesia & bahasa Inggris.*

Kata kunci : Zeolit, Sedementasi. Dekantasi, Kalsinasi

## PENDAHULUAN

Format utama terdiri atas 2 kolom. Buka page set-up dan diset : Top 1,1", bottom 0,8", inside 1,2", outside 1", gutter 0", header 0,7" dan footer 0,5". Serta jarak kolom 1 cm. Tulisan dalam Microsoft Word, 1 spasi. Tuliskanlah latar belakang, penjelasan mengenai penelitian terkait, yang telah lebih dahulu dipublikasikan.

Selain itu jelaskan hal-hal yang spesifik dan khusus dalam penelitian anda. Kutipan dari references atau daftar pustaka dibuat dengan **tanda<sup>1)</sup>**, dengan 1 menunjukkan nomor dalam daftar pustaka. Istilah dalam bahasa asing dan simbol matematika ditulis dengan huruf miring.

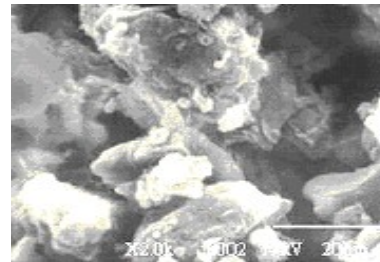
## BAHAN DAN METODE

Tabel, gambar dan rumus dibuat seperti contoh dibawah ini disertai dengan penjelasannya

Tabel 1.  
Data Analisis XRD Sampel Zeolit

2 $\theta$	d space (Å)	Intensity
21.68	4.10	846.667
22.00	4.04	1293.330
23.02	5.03	11053.330

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian



Gambar 4.  
Foto SEM Zeolit

$$ax^2 + bx + c = 0 \quad (1)$$

Catatan : Tabel dan Gambar dapat juga dibuat memenuhi seluruh lebar halaman.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Judul Bab 3 ini dapat dipisahkan menjadi dua judul pasal, yaitu :

## **HASIL PENELITIAN PEMBAHASAN**

Dapat juga berisi sub-sub judul yang relevan dengan penelitian yang dilakukan.

## **SIMPULAN**

Simpulan (*conclusion*), hasil menyimpulkan berupa pendapat yang diperoleh setelah membahas sesuatu hal dalam bentuk narasi.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terimakasih berisi kepada siapa ucapan terimakasih disampaikan (sumber pendanaan) maupun instansi atau institusi yang membantu kelancaran penelitian.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Pengacuan pustaka 80% terbitan 10 tahun terakhir dan 80% berasal dari sumber acuan primer (jurnal). minimal 10 referensi.

1. Hens, S., Rosjidi, M., *Proses Pemurnian Zeolit Alam*, Majalah Pengkajian Industri, , No. 21, 2003, p23.
2. Grobert P.S, W.S. Mortier, E.F. Vamsart and G. Schulz-Ekloff, *Studies in Surface Science and Catalysis*, Innovation in zeolite materials science, vol.37, Elsevier, Netherland, 2002.
3. ...., [http: // www. mathey. ch/ fileadmin / user - upload / fichetechnique /EN/CuZn28.pdf](http://www.mathey.ch/fileadmin/user_upload/fichetechnique/EN/CuZn28.pdf), diakses Agustus 2009.