

LAPORAN PENELITIAN
PENGARUH EFEK RADIASI PANAS KABEL NYM
KHUSUSNYA SELUBUNG DAN ISOLASI
PADA GEDUNG KANTOR YANG TERBAKAR



OLEH:
MELYA DYANASARI SEBAYANG S.Si, MT
SAMUEL GIDEON S.Si, MSi
MANOGARI SIANTURI S.Si, MT

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
TAHUN AKADEMIK 2013-2014



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK

LEMBAR PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN SEMESTER GANJIL 2013/2014

1. Judul Penelitian : Pengaruh efek radiasi panas Kabel NYM khususnya selubung dan isolasi Pada Gedung Kantor Yang Terbakar
2. TIM Peneliti : Melya Dyanasari Sebayang S.Si, MT
Anggota : Samuel Gideon S.Si, M.Si
Manogari Sianturi S.Si, MT
3. Lokasi Penelitian : Lab Mesin UKI dan Lab Metalurgi UI
4. Kerjasama dengan instansi lain: tidak ada
5. Jangka Waktu Penelitian : 12 Bulan
6. Biaya Penelitian : Rp. 10.000.000,-

Demikianlah laporan ini dibuat sebagaimana dilaksanakan berdasarkan bukti-bukti pelaksanaan yang ada

**Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik UKI
Ketua**

Jakarta 1 April 2014

**Tim Peneliti
Ketua**

**Ir. Aryantono M.Ph.D
Anggota**

Melya Dyanasari Sebayang S.Si, MT

Samuel Gideon S.Si, M.Si

Manogari Sianturi S.Si, MT

**Mengetahui
Ketua LPPMPB-UKI**

(Ir. S.M.Doloksaribu, M.Ing)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan berkat dan rahmatNya yang begitu besar sehingga ini dapat diselesaikan. Adapun penelitian ini berjudul “Pengaruh Efek Radiasi Panas Kabel NYM Pada Gedung Kantor Yang Terbakar “

Dalam laporan ini penulis menganalisa selubung dan isolasi pada kabel listrik jenis NYM. Penelitian dan Pengujian kabel ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin UKI dan Laboratorium Elektro UKI serta laboratorium SEM Universitas Indonesia. Dalam penulisan Laporan ini memang sangat jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritikan dari pembaca sekalian, yang akhirnya buku laporan ini nantinya semakin sempurna dan dapat berguna serta bermanfaat untuk kemajuan bersama.

Akhir kata penulis mengharapkan agar laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca, terutama bagi pembaca yang berminat dengan perkabelan dan konversi energi listrik

TIM Peneliti mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan laporan ini

Jakarta, April 2014

Tim Penulis

ABSTRAK

Kasus kebakaran yang diduga akibat listrik masih terjadi dari tahun 2008 hingga akhir 2013 ini, kasus kebakaran di kota Jakarta sangat mendominasi. Rata – rata 40% kasus kebakaran akibat listrik dari total kasus kebakaran yang ada. Penyebab kebakaran akibat listrik sangat kompleks dan bermacam – macam. Banyak pelanggaran yang dilakukan oleh pelaku instalasi listrik dengan cara menggunakan material listrik dan pemasangan instalasi yang tidak mengacu pada peraturan dan standar yang berlaku. Hal ini memicu penurunan kualitas listrik yang ada pada masyarakat. Dampak bagi masyarakat luas adalah tidak terjaminnya keselamatan dan keamanan instalasi tersebut bagi pengguna dan pemanfaatan energi listrik. Dengan mengacu peraturan standar tentang pemasangan instalasi dan material listrik yang digunakan diharapkan akan meminimalisir terjadinya korban akibat listrik.

Penelitian ini membahas tentang penyebab – penyebab yang timbul akibat penggunaan material yang tidak standar dan pemasangan instalasi secara sembarangan. Dari data penelitian didapat dari tinjauan lapangan serta data penunjang dari dinas maupun instansi terkait. Dari penelitian yang dilakukan didapat hasil bahwa pemasangan instalasi dan penggunaan material listrik yang tidak standar merupakan penyebab utama dari bahaya akibat listrik hingga bahaya kebakaran yang bisa ditimbulkan. Penggunaan kabel melebihi dari KHA (Kemampuan Hantar Arus) kabel tersebut bisa menyebabkan hubungan arus pendek yang mengakibatkan melelehnya isolasi kabel akibat aliran arus yang berlebihan/besar. Instalasi tanpa penghantar pengaman juga salah satu penyebab dari sengatan arus listrik yang tidak langsung. Pemakaian material listrik tanpa SNI (Standar Nasional Indonesia), tidak menjamin instalasi tersebut aman digunakan dalam kurun waktu lama. Karena kualitas bahan material yang belum diuji oleh badan pengujian mutu.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	v
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Tujuan penelitian....	2
1.3 Batasan masalah.....	2
1.4 Perumusan masalah.....	3
1.5 Waktu dan tempat.....	3
1.6 Sistematika penulisan.....	3
BAB II TEORI DAN KONSEP DASAR	5
2.1 Sejarah PVC	5
2.2 Sifat karekteristik PV.....	6
2.3 Karakteristik Kimia PVC....	7
2.4 Karakteristik Kimia PVC.....	8
2.5 Jenis – jenis PVC.....	9
2.6 Konstruksi dan Material kabel NYM.....	10
2.7 Tahanan Isolasi.....	11
2.8 Sifat- sifat termal dari Polimer.....	12
2.9 Pengujian tarik.....	13
2.10 Analisis mikro struktur.....	14
BAB III METODOLOGI ANALISIS	8
3.1 Metodologi Pengumpulan Data.....	8
3.2 Metodologi Analisa.....	12
BAB IV ANALISA DATA DAN PERHITUNGAN	19
4.1 Hasil Penelitian Sifat Mekanis.....	19
4.2 Perhitungan Tegangan luluh/ Yield Strength (σ_y).....	20
4.3 Perhitungan Ultimate Strength/ Tegangan maksimum (σ_u).....	20
4.4 Perhitungan Tegangan Patah.....	30
4.5 Perhitungan Nilai Regangan/ Elongasi (ϵ).....	32
4.6 Perhitungan Nilai Modulus Elastisitas	35
4.7 Hasil Uji Metallography.....	40
BAB V KESIMPULAN	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	51

BAB I

PENDAHULUAN

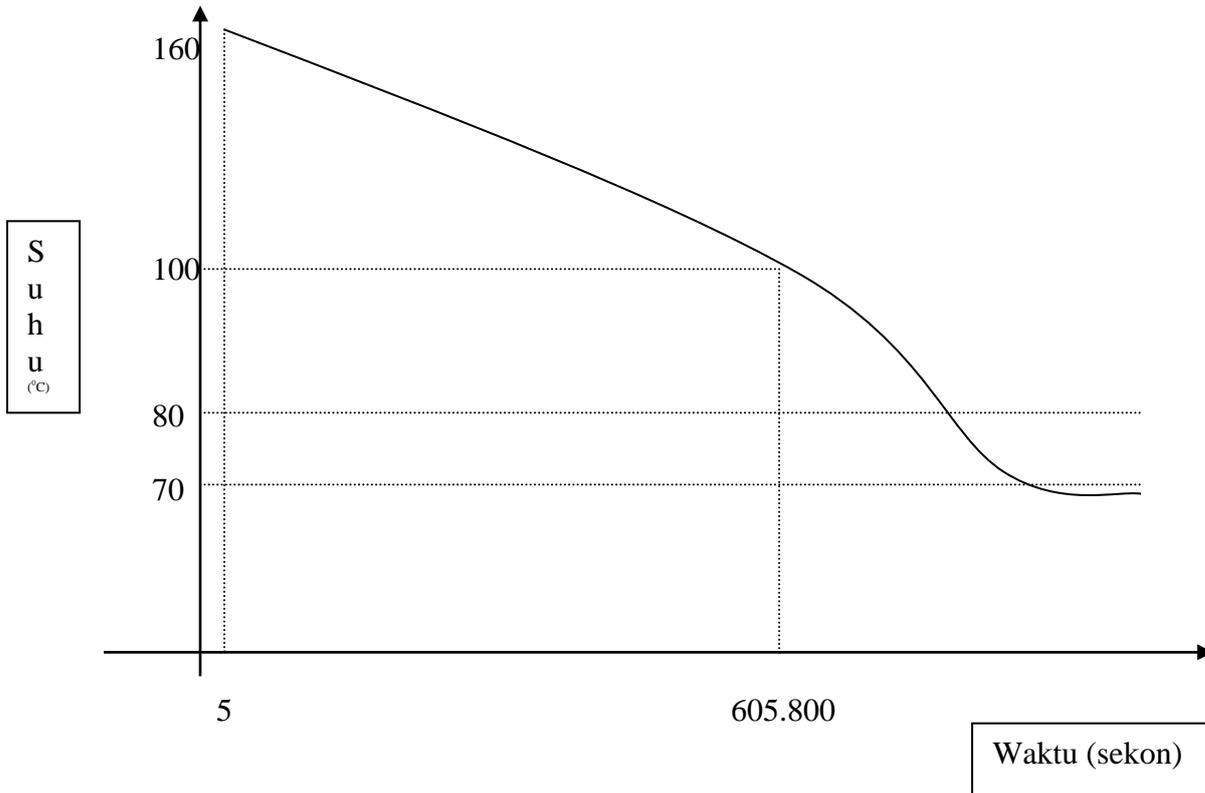
I.1. LATAR BELAKANG

Kabel merupakan salah satu komponen penting dalam jaringan distribusi kelistrikan. Menurut penggunaannya kabel dibagi dalam beberapa kelompok yaitu, kabel untuk tegangan rendah (tegangan nominal s/d 1 kV), kabel untuk tegangan menengah (tegangan nominal s/d 30 kV), kabel untuk tegangan tinggi (tegangan 30 kV s/d 150 kV) dan kabel untuk tegangan ekstra tinggi (tegangan dari 150 kV s/d 500 kV). Listrik selalu dijadikan alasan awal dari kebakaran, walaupun tidak dapat dihindari, kadang- kadang listrik memang menjadi biang keladi awal terjadinya api. Dari bencana tersebut, kebakaran tidak lepas dari penggunaan listrik yang tidak benar dan mengabaikan sistem pengamanan yang telah diatur. Oleh sebab itu dibutuhkan perhatian pihak terkait serta peran pemerintah dalam hal penjaminan standar mutu kabel yang beredar di masyarakat dan penyuluhan terhadap masyarakat luas tentang standar instalasi listrik yang dapat diaplikasikan pada bangunan yang akan di lakukan penginstalasian, agar kebakaran yang disebabkan oleh konsleting listrik dapat terhindarkan.

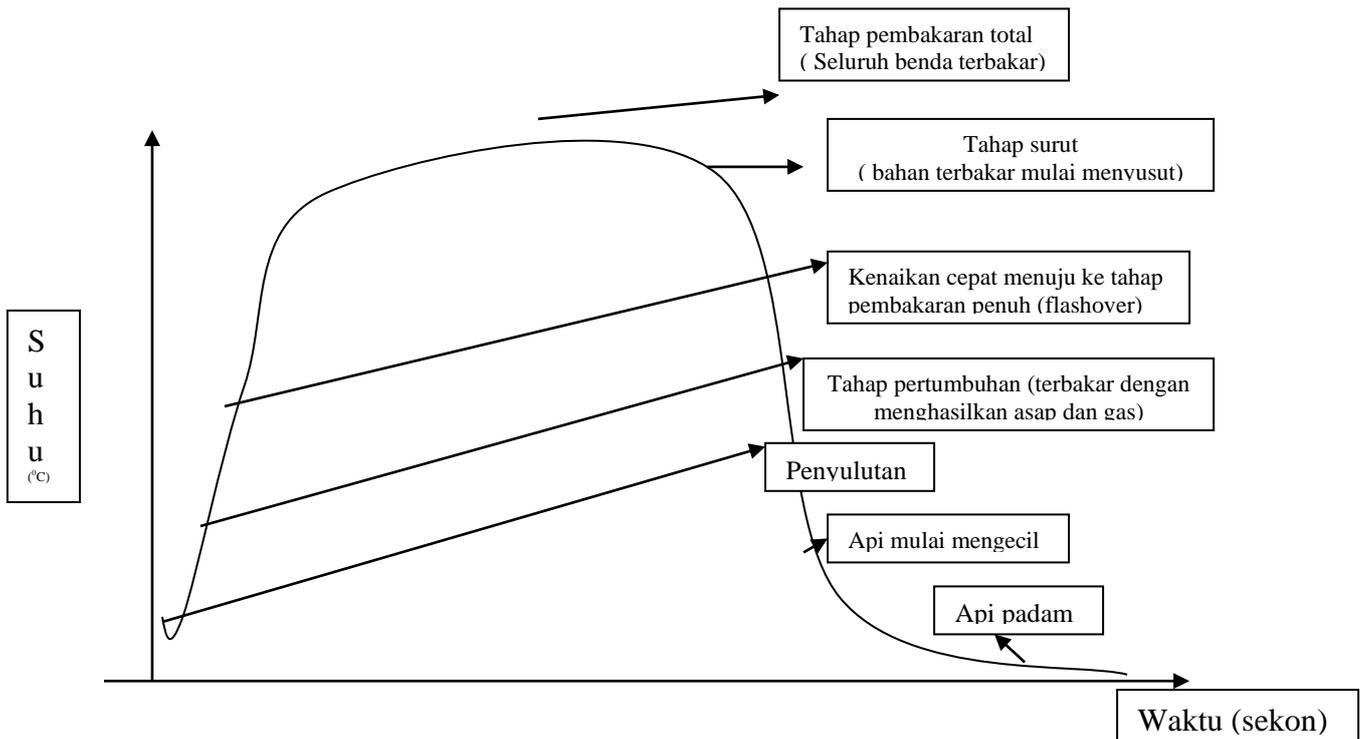
Menurut International Electrotechnical Commission (IEC) 502, suatu bahan PVC tahan terhadap suhu 70°C dalam jangka waktu yang lama selama suhunya tetap. Bahkan PVC masih baik pada suhu 100°C selama 7 x 24 jam sampai suhu 160°C dalam waktu maksimal 5 detik (Gambar 1.1). Selain itu juga suatu bangunan akan habis terbakar dalam waktu ± 45 menit dengan suhu yang mencapai $\pm 960^{\circ}\text{C}$ (Gambar 1.2). Suatu gedung bertingkat yang terbakar akibat kecerobuhan manusia akan berakibat juga pada instalasi listrik pada umumnya dan pada kabel khususnya.

Dalam penelitian ini akan diteliti mutu dari kabel yang terpengang atau terkena radiasi panas. Sehingga dapat ditentukan kabel tersebut masih layak dipakai kembali atau tidak menurut standar- standar yang ada di Indonesia seperti Standar Perusahaan Listrik Negara.

Dan bila pemilik gedung bertingkat yang terbakar tersebut mau membangun kembali gedung tersebut dapat dipakai kabel tersebut atau tidak.



Gambar 1.1. Kurva suhu –vs- waktu bila dilakukan simulasi di oven pada PVC menurut IEC 502.



Gambar 1.2. Kurva suhu ruang-vs- waktu kebakaran pada gedung bertingkat tinggi

I.2. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui sifat fisis seperti tebal, diameter, massa, struktur; sifat mekanis seperti kuat tarik saat putus dan pemuluran panjang dari masing-masing bagian kabel; sifat elektrik Penelitian sifat mekanis isolasi dari selubung PVC pada kabel 3 x 2,5 mm (NYM) pada gedung betingkat yang terbakar dan mengetahui struktur mikro serta pengaruh api dan suhu tinggi dari bahan PVC sehingga dapat disimpulkan kabel dengan merek tersebut masih dapat digunakan atau harus didaur ulang.

I.3. MANFAAT PENELITIAN

Manfaat penelitian ini diharapkan dapat sebagai bahan perbandingan atau referensi terhadap kelayakan suatu merek kabel tertentu yang dipakai pada suatu gedung bertingkat tinggi bila kabel tersebut terkena radiasi panas atau terpanggang.

I.4. TEMPAT PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di beberapa laboratorium di Laboratorium Metalurgi Universitas Kristen Indonesia (UKI) serta Laboratorium Metalurgi UI khususnya SEM.

I.5. BATASAN MASALAH

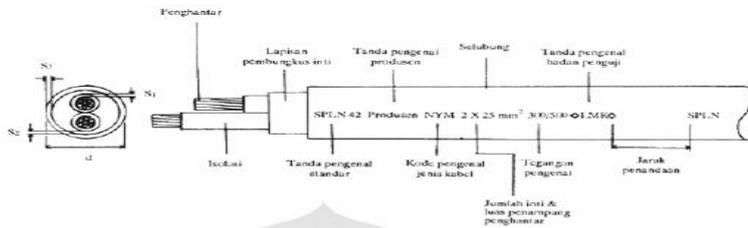
Untuk memudahkan dalam perumusan dan penyelesaian masalah dalam penulisan ini maka dilakukan pembatasan masalah pembahasan. Batasan dari masalah dalam tulisan ini adalah:

1. Perbandingan karakteristik terhadap pengujian mekanis
2. Pengujian pengaruh api dan suhu tinggi pada isolasi dan selubung dari kabel utuh NYM, sebelum terbakar dan setelah terbakar pada suhu : 70°C, 80°C, 90°C, 100°C, 120°C dan 140°C.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konstruksi dan material kabel NYM



Gambar 2.1

Konstruksi Kabel NYM

2.2.1 Arti Kode Pengenal Kabel NYM

Huruf kode	Keterangan
N	Kabel jenis standar dengan <i>tembaga</i> sebagai penghantar
Y	Isolasi PVC
M	Selubung PVC
re	Penghantar padat bulat
rm	Penghantar bulat berkawat banyak

2.2 POLY VINLY CLORIDE (PVC)

Senyawa PVC ini dapat berwujud padatan dalam cairan dengan perbandingan 50 % yang tersuspensi yang umumnya digunakan dalam bahan eksperimen dan penelitian, juga seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, wujudnya juga dapat berupa bubuk putih atau padatan krim yang berwarna. PVC memiliki range berat molekul dari 60000 hingga 140000 gram/mol. Berikut ini adalah sifat-sifat dari PVC:

Tabel 1.1 sifat-sifat dari PVC

Sifat mekanik	PVC Rigid	PVC Fleksible
Tensile strength (MPa)	44,4	9,6
Tensile modulus (GPa)	2,75	
Impact strength (J/m)	18,1	293
Density (g/cm ³)	1,4	1,4
Dielectric Strength (MV/m)	34	25,6

2.3 Uji tarik

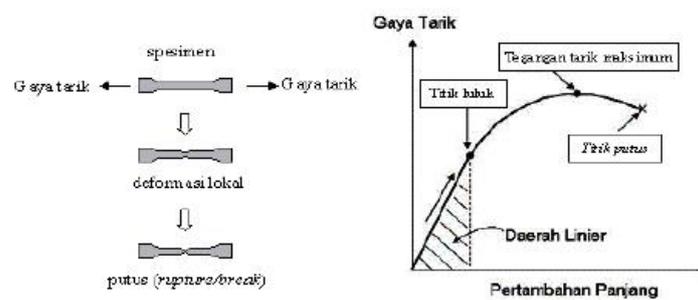
Uji tarik termasuk dalam pengujian bahan yang paling mendasar. Pengujiannya sangat sederhana dan sudah memiliki standarisasi di seluruh dunia (Amerika ASTM E8 dan Jepang JIS 2241). Dengan melakukan uji tarik suatu bahan, maka akan diketahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap energi tarikan dan sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (grip) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (highly stiffness). Gambar mesin uji tarik dapat dilihat pada gambar



Gambar 2.5 Mesin Uji Tarik (Tensile Test)

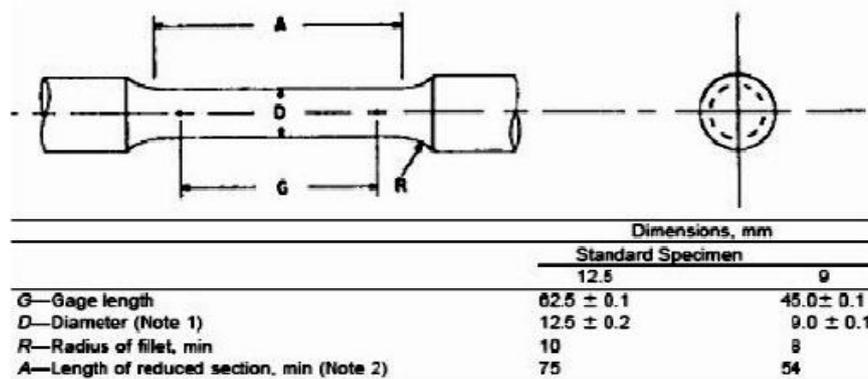
Bila gaya tarik terus diberikan kepada suatu bahan (logam) sampai putus, maka akan di dapatkan profil tarikan yang lengkap berupa kurva seperti digambarkan pada Gambar 2.6.

Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Profil ini sangat diperlukan dalam desain yang memakai bahan tersebut.



Gambar 2.6 Hasil dan kurva pengujian tarik (www.infometrik.com)

Hal paling penting dalam pengujian tarik adalah kemampuan maksimum bahan tersebut dalam menahan beban. Kemampuan ini umumnya disebut “Ultimate Tensile Strength” disingkat dengan UTS, atau Tegangan Tarik Maksimum. Gambar spesimen uji tarik yang sesuai dengan standar E8 ASTM volume 3 bisa dilihat pada gambar 2.7.



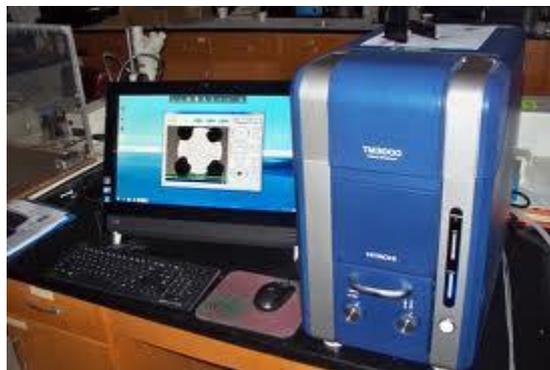
Gambar 2.7 Sampel standar uji tarik E8 ASTM volume 3

2.3 Analisis mikro struktur

Analisa mikro adalah suatu analisa mengenai struktur logam melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus metallography. Dengan analisa mikro struktur, kita dapat mengamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi.

Sifat-sifat logam terutama sifat mekanis dan sifat teknologis sangat mempengaruhi dari mikro struktur logam dan paduannya. Struktur mikro dari logam dapat diubah dengan jalan perlakuan panas ataupun dengan proses perubahan bentuk (deformasi) dari logam yang akan diuji. Pengamatan metallography akan di lakukan dengan menggunakan SEM (Scanning Electron Microscopy). Mikroskop ini mampu melakukan pembesaran objek sampai 2 juta kali.

Adapun gambar alat uji foto mikro dapat dilihat pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 Alat Uji Foto Mikro (SEM)

Gambar 2.19 adalah alat uji struktur mikro, yang fungsinya untuk mengambil gambar dari spesimen yang di uji dengan ukuran sampai 2 juta x pembesaran (metallography). Sebelum melakukan percobaan metallography terhadap suatu material, terlebih dahulu harus ditentukan material logam apa yang akan diuji. Sebaiknya harus ada data pembandingan antara data mikro struktur yang di dapat dari percobaan dengan data mikro struktur yang sebenarnya dari suatu material yang dijadikan benda uji.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada skripsi ini. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu: Melakukan pengujian pemanasan pada selubung PVC pada kabel NYM 3 x 2,5 pada suhu 70⁰C, 90⁰C, 110⁰C, 120⁰C, 140⁰C. Pemanasan dilakukan selama 2 jam, setelah dilakukan pemanasan, spesimen dilakukan pengujian sifat mekanis yaitu uji tarik. Setelah mendapatkan hasil uji tarik spesimen lalu di foto struktur mikronya.

3.1 WAKTU DAN TEMPAT

Waktu penelitian ini dimulai dari bulan Mei 2012 sampai dengan bulan July 2013. Tempat dilaksanakannya pengujian kekuatan tarik, uji pemanasan dan pengujian beban yang dilaksanakan di Laboratorium Universitas Kristen Indonesia. Sedangkan uji struktur mikro dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi Universitas Indonesia.

3.2 BAHAN DAN ALAT PENELITIAN

3.2.1 Bahan penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Selubung PVC

Pada pengujian ini bahan yang digunakan adalah selubung PVC pada kabel NYM 3 × 2,5 mm² untuk gedung bertingkat.

Adapun selubung PVC bisa dilihat pada gambar 3.1 (a) yang sebelum dan (b) yang sesudah diuji tarik.



Gambar 3.1 Bentuk selubung utuh PVC untuk pengujian tarik



Gambar 3.2 Spesimen selubung PVC yang sudah dilakukan pengujian tarik

Pada pengujian selubung pada PVC dipanaskan di oven sebagai simulasi efek radiasi panas akibat gedung yang terbakar sebelum diuji tarik, karena untuk membandingkan sifat mekanis dari selubung PVC tersebut yang sudah dipanaskan dan sebelum dipanaskan dan untuk mengetahui standar selubung PVC menurut standar SPLN 42 – 2 : 1992.

Pada pengujian selubung pada PVC harus dibentuk dulu sebelum dilakukan pengujian pemanasan sesuai panduan standar SPLN 42 – 2 : 1992. Bentuk selubung pada PVC yang sesuai dengan standar SPLN dapat dilihat pada gambar (3.3).



Gambar 3.3 Selubung PVC yang sudah dibentuk sesuai standar SPLN

3.2.2 ALAT PENELITIAN

3.2.2.1 Oven Pemanas



Gambar 3.4 Oven pemanasan

Tanur pemanas digunakan untuk memanaskan selubung PVC pada kabel NYM 3 x 2,5 mm² sesuai dengan pengujian standar SPLN 42 – 2 :1992.

Spesifikasi Oven pemanas

Merk	: Naber
Tipe	: N 50 P
Tempratur Maksimum	: 1280°C
Buatan	: Jerman
Tahun	: 1982
Power	: 220V/50Hz/1ph/14,5A/3,2 kW.

3.2.2.2 Mesin uji tarik



Gambar 3.5 Mesin Uji Tarik

Mesin uji kekuatan tarik digunakan untuk mengetahui kekuatan dari suatu material yang telah dibentuk, berdasarkan ukuran standar untuk pengujian tarik seperti terlihat pada gambar 3.5

Spesifikasi mesin uji tarik

Model : H3F – C3 – 10000 kg – 4T

Nomor Seri Mesin : 04720892

Materila : Logam baja

Kapasitas :10000 kg

b. Mesin polish

Mesin polish digunakan untuk meratakan permukaan benda uji yang akan digunakan pada alat foto mikro. Dimana benda kerja harus dipolish secara bertahap dengan kertas pasir / amplas yang telah disediakan hingga pemukaannya halus. Mesin polish dapat dilihat pada gambar 3.6



Gambar 3.6 Mesin Polish

Mesin polish tersebut juga harus diberi air dan odol untuk memoles benda yang ingin diuji SEM, untuk mendapatkan hasil yang baik pada saat pengujian struktur mikro tersebut.

c. Mesin Penguji Mikro Struktur

SEM atau *Scanning Electron Microstructure* adalah mesin penguji Struktur mikro pada suatu benda logam atau material yang sangat kecil dan tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, sehingga perlu menggunakan mikroskop optik atau mikroskop elektron untuk pemeriksaan butiran-butiran logam tersebut. Adapun gambar alat uji foto mikro dapat dilihat pada Gambar 3.7

Spesifikasi SEM

Tipe	: TM3030
Tahun pembuatan	: 2005
Pembesaran	: 1500 – 5000 kali



Gambar 3.7

Mesin struktur mikro

d. Mesin Bubut

Mesin bubut seperti yang terlihat pada gambar 3.8. digunakan untuk membentuk spesimen SEM. Hasil cetakan dibentuk menggunakan mesin bubut untuk membentuk spesimen yang akan diuji pada uji mikrostruktur agar ukuran pada spesimen sesuai dengan standar.



Gambar 3.8 Mesin Bubut

- e. Gergaji tangan : Untuk memotong selubung PVC pada kabel NYM
- f. Penggaris Mistar : Untuk mengukur selubung kabel PVC
- g. Spidol : Untuk menandai berapa ukuran yang dipotong
- h. Stop watt : Untuk mengukur waktu dilakukan pengujian tarik
- i. Termometer : Untuk mengukur temperature sekitar ruangan
- j. Gunting : Untuk membentuk selubung pada kabel PVC

3.3 Proses perlakuan panas

Karena sudah berbentuk menjadi selubung PVC, maka dalam penelitian ini dilakukan proses perlakuan panas pada spesimen. Perlakuan panas pada temperatur 70°C , 90°C , 110°C , 120°C , dan 140°C , dan ditahan selama 2 jam. Setelah itu spesimen di celup ke dalam 5 (lima) proses pendinginan yaitu :

1. Dibiarkan dingin pada suhu ruang dengan temperatur ruangan yaitu 32°C



Gambar 3.9 Pendinginan pada suhu normal

2. Air hujan pada suhu 27°C , dengan alasan : Pada saat kebakaran terjadi timbul hujan



Gambar 3.10 Pendinginan dengan air ujan

3. Air Sabun bersuhu 28°C dengan alasan pada saat terjadinya kebakaran, pemadam kebakaran memakai cara ini dengan harapan sumber kebakaran cepat teratasi.



Gambar 3.11 Pendinginan dengan air sabun

4. Pasir yang bersuhu 28°C dengan alasan : biasanya pada saat terjadinya kebakaran di pemukiman, salah satu cara untuk mematikan sumber api dengan memakai pasir



Gambar 3.12 Pendinginan dengan pasir

5. Pendinginan campuran yaitu campuran dari pendinginan yang telah disebutkan diatas. Dengan alasan jika terjadi kebakaran warga terdekat dengan terjadinya kebakaran memakai semua cara pendinginan yang ada untuk mematikan sumber api.



Gambar 3.13 Pendinginan dengan campuran

3.4 Pengujian sifat mekanis dan metalografi

3.4.1 Pengujian tarik

Setelah dilakukan proses pemanasan dalam oven pemanas, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian sifat mekanis yaitu uji tarik dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan bahan tersebut menahan beban maksimum dan sejauh mana material tersebut bertambah panjang. Dan untuk mengetahui apakah selubung PVC pada kabel yang terkena efek panas pada gedung yang bertingkat dapat digukan kembali sesuai standar. Pengujian tarik sudah mempunyai standar yang sesuai, yaitu SPLN 41- 1 : 1991.



Gambar 3.14 Proses pengujian tarik

3.4.2 Proses pengujian

Adapun prosedur pengujian pada pengujian tarik adalah sebagai berikut:

- a. Spesimen dijepit pada chuck.
- b. Setting pengukuran beban di angka nol pada layar monitor.
- c. Untuk selubung PVC kabel beban yang diberikan sebesar 10000 kgf
- d. Klik start pengujian.
- e. Akan terlihat pada layar akan terlihat grafik dari hasil uji

3.4.3 Struktur mikro

Tujuan dilakukannya pengujian struktur mikro adalah untuk mengetahui srstruktur mikro dari suatu material PVC dengan menggunakan alat SEM pada gambar 3.7 yang merupakan hibah yang terdapat dilab metalurgi UKI.

3.4.4 Prosedur pengujian mikro

Adapun prosedur pengujian struktur mikro adalah sebagai berikut:

- a. Potong bagian dari benda uji untuk menjadi sampel.
- b. Taruh specimen yang ingin diuji pada cetakan.
- c. Buat cetakan specimen dengan memakai campuran resin + katalist.
- d. Ampelas permukaan benda uji yang akan dilihat struktur mikronya.
- e. Poles permukaan benda uji sampai halus sehingga tidak terlihat bekas goresan pengamplasannya.
- f. Etsa permukaan benda uji yang akan di lihat struktur mikronya.
- g. Benda uji siap di lihat struktur mikronya.



(a)

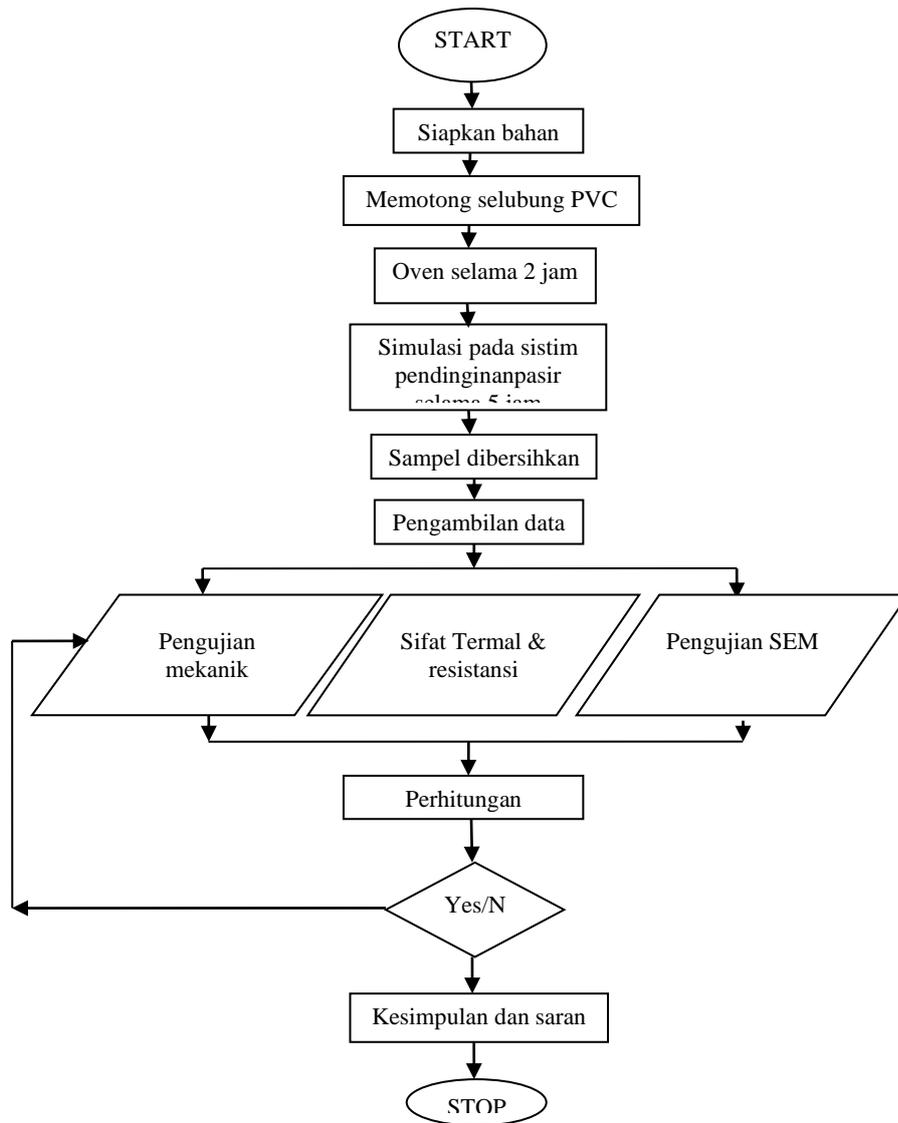
(b)

Gambar 3.15 (a) Cetakan resin + katalis untuk pengujian metalografi

(b) Pengamplasan spesimen

3.5 Diagram alir pengujian

Diagram alir penelitian menunjukkan proses yang dilakukan selama penelitian. Langkah awal dari penelitian ini adalah mempelajari tentang selubung PVC sebagai isolator kabel NYM (studi literatur SNI). Setelah itu dilanjutkan dengan proses pemanasan selubung PVC. Setelah pemanasan spesimen, maka akan dilakukan pengujian. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian tarik, dan struktur mikro. Setelah dilakukan pengujian, maka akan didapat data dari hasil pengujian tersebut. Setelah didapat data dari hasil pengujian, maka akan dilakukan proses pengolahan data. Setelah dilakukan proses pengolahan data, maka selanjutnya akan dilakukan penulisan laporan. Setelah penulisan laporan ini selesai, maka penelitian ini sudah selesai dilaksanakan.



Gambar diagram alir dapat dilihat pada gambar 3.16.

BAB IV

DATA DAN ANALISA DATA

4.1 Hasil Pengujian Analisa

Pada pengujian ini selubung PVC pada kabel ini telah selesai dilakukan pengujian selama bulan Mei – Juli 2013. Dalam bab ini dijabarkan hasil dari pengujian dan dihitung dengan menggunakan rumus yang telah dimiliki serta analisa dengan menggunakan grafik. Sehingga dihasilkan perbandingan antara kelebihan dan kekurangan dari selubung PVC pada kabel tersebut. Penelitian ini juga menghasilkan data-data dan foto dengan pengamatan struktur mikro hasil selubung pada kabel yang telah dilakukan pengujian :

Data yang dicari dengan menganalisa yaitu :

1. Nilai Tegangan tarik (kgf/mm^2)
2. Elongasi bahan (%)
3. Modulus Elastisitas Bahan
4. Perubahan mikrostruktur selubung PVC pada kabel sebelum dan sesudah terkena efek radiasi panas pada gedung bertingkat yang terbakar.

Adapun gambar isolator selubung PVC pada kabel yang dipotong seperti pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Spesimen isolator yang diuji

Dalam proses pengambilan data yang memakai isolator pada selubung isolasi pada kabel NYM, selubung tersebut memiliki ukuran yaitu 18 cm sesuai dengan SPLN 39-1: 1991. Dimana data yang dihasilkan seperti terlihat pada tabel di bawah.

Tabel 4.1 Specimen di panaskan pada suhu 70⁰ C selama 2 jam

No	Suhu	Pendingin	Waktu	Panjang Awal	Panjang Akhir	Diameter Awal	Diameter Akhir	Tegangan Luluh	Tegangan Maksimum	Tegangan Patah
			S	Mm	Mm	Mm	mm	Kgf	Kgf	kgf
1	70 ⁰ C	air sabun	8:25:80	180	225	10	9	480	600	440
2		air hujan	7:18:70	180	225	10	7	456	570	440
3		Pasir	7:04:26	180	220	10	8	440	550	450
4		Udara	6:03:46	180	234	10	8	416	520	440
5		Campuran	6:02:70	180	240	10	8.5	416	520	450

Tabel 4.2 Specimen di panaskan pada suhu 90⁰ C selama 2 jam

No	Suhu	Pendingin	Waktu	Panjang Awal	Panjang Akhir	Diameter Awal	Diameter Akhir	Tegangan Luluh	Tegangan Maksimum	Tegangan Patah
			S	Mm	Mm	mm	mm	Kgf	Kgf	kgf
1	90 ⁰ C	air sabun	7:18:48	180	235	10	9	464	580	450
2		air hujan	8:10:39	180	235	10	6	440	550	440
3		Pasir	4:12:27	180	215	10	8	488	610	450
4		Udara	4:20:85	180	235	10	8	504	630	450
5		Campuran	7:18:48	180	245	10	7	480	600	440

Tabel 4.3 Specimen di panaskan pada suhu 110⁰ C selama 2 jam.

No	Suhu	Pendingin	Waktu	Panjang	Panjang	Diameter	Diameter	Tegangan	Tegangan	Tegangan
----	------	-----------	-------	---------	---------	----------	----------	----------	----------	----------

				Awal	Akhir	Awal	Akhir	Luluh	Maksimum	Patah
				S	Mm	Mm	mm	mm	Kgf	Kgf
1	110 ° C	air sabun	3:41:63	180	210	10	6	488	610	440
2		air hujan	5:20:96	180	220	10	8	512	640	450
3		Pasir	5:10:44	180	220	10	7	496	620	450
4		Udara	6:11:94	180	225	10	8	512	640	450
5		Campuran	4:53:66	180	215	10	7	472	590	450

Tabel 4.4 Specimen di panaskan pada suhu 120⁰ C selama 2 jam.

No	Suhu	Pendingin	Waktu	Panjang	Panjang	Diameter	Diameter	Tegangan	Tegangan	Tegangan
				Awal	Akhir	Awal	Akhir	Luluh	Maksimum	Patah
			S	Mm	Mm	mm	mm	Kgf	Kgf	kgf
1	120 ° C	air sabun	6:10:70	180	215	10	8	488	610	440
2		air hujan	5:12:47	180	225	10	7	512	640	450
3		Pasir	3:42:57	180	213	10	6	512	640	440
4		Udara	5:01:95	180	245	10	7	424	530	450
5		Campuran	9:20:73	180	220	10	7	504	630	450

Tabel 4.5 Specimen di panaskan pada suhu 140⁰ C selama 2 jam.

No	Suhu	Pendingin	Waktu	Panjang Awal	Panjang Akhir	Diameter Awal	Diameter Akhir	Tegangan Luluh	Tegangan Maksimum	Tegangan Patah
			S	Mm	Mm	mm	mm	Kgf	Kgf	kgf
1	140 ° C	air sabun	2:14:64	180	190	10	6	560	700	440
2		air hujan	3:56:30	180	225	10	7	496	620	440
3		Pasir	5:47:98	180	225	10	7	520	650	440
4		Udara	4:40:96	180	230	10	7	528	660	440
5		Campuran	2:44:19	180	200	10	7	520	650	440

4.2 Hasil Penelitian Sifat Mekanis

Dari pengujian sifat mekanis (uji tarik) didapat beberapa hasil yang terlihat di dalam tabel seperti di bawah :

Dari hasil penujian sifat mekanis langkah selanjutnya adalah mengolah data tersebut dengan menggunakan rumus yang ada. pengolahan data terdiri dari perhitungan Elongasi (%), Nilai Tegangan – tegangan seperti: tegangan maksimum, tegangan luluh, tegangan patah (kgf/mm^2) serta modulus elastisitas. Berikut adalah hasil pengolahan data sesuai data yang dihasilkan.

4.2.1 Nilai Tegangan Untuk Masing-Masing Spesimen Adalah :

4.2.1.1. Tegangan luluh/ Yield Strength (σ_y)

Titik Yield Strength adalah dimana material akan terus mengalami deformasi tanpa penambahan beban. Tegangan yang mengakibatkan material mengalami mekanisme ini disebut Tegangan Luluh.

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0}$$

σ_y = Tegangan Luluh/Yield Strength (kgf/mm^2)

F_y = Beban yang menyebabkan material mengalami mekanisme

Luluh (lihat pada mesin uji).... (kgf)

A_0 = Luas penampang awal (mm^2)

Nilai tegangan untuk masing-masing spesimen adalah :

A. Spesimen pemanasan 70^0 C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{480}{78.5} = 6.11 \text{ kgf/mm}^2$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{456}{78.5} = 5.80 \text{ kgf/mm}^2$$

c. Pendinginan pasir

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{440}{78.5} = 5.60 \text{ kgf/mm}^2$$

d. Pendinginan Udara

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{416}{78.5} = 5.29 \text{ kgf/mm}^2$$

e. Pendinginan Campuran

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{416}{78.5} = 5.29 \text{ kgf/mm}^2$$

B. Spesimen pemanasan 90^0 C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{464}{78.5} = 5.91 \text{ kgf/mm}^2$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{440}{78.5} = 5.60 \text{ kgf/mm}^2$$

c. Pendinginan pasir

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{488}{78.5} = 6.21 \text{ kgf/mm}^2$$

d. Pendinginan Udara

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{504}{78.5} = 6.42 \text{ kgf/mm}^2$$

e. Pendinginan Campuran

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{480}{78.5} = 6.11 \text{ kgf/mm}^2$$

C. Spesimen pemanasan 110⁰ C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{488}{78.5} = 6.21 \text{ kgf/mm}^2$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{512}{78.5} = 6.52 \text{ kgf/mm}^2$$

c. Pendinginan pasir

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{496}{78.5} = 6.31 \text{ kgf/mm}^2$$

d. Pendinginan Udara

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{512}{78.5} = 6.52 \text{ kgf/mm}^2$$

e. Pendinginan Campuran

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{472}{78.5} = 6.01 \text{ kgf/mm}^2$$

D. Spesimen pemanasan 120⁰ C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{488}{78.5} = 6.21 \text{ kgf/mm}^2$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{512}{78.5} = 6.52 \text{ kgf/mm}^2$$

c. Pendinginan pasir

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{512}{78.5} = 6.52 \text{ kgf/mm}^2$$

d. Pendinginan Udara

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{424}{78.5} = 5.40 \text{ kgf/mm}^2$$

e. Pendinginan Campuran

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{504}{78.5} = 6.42 \text{ kgf/mm}^2$$

E. Spesimen pemanasan 140° C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{560}{78.5} = 7.13 \text{ kgf/mm}^2$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{496}{78.5} = 6.31 \text{ kgf/mm}^2$$

c. Pendinginan pasir

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{520}{78.5} = 6.62 \text{ kgf/mm}^2$$

d. Pendinginan Udara

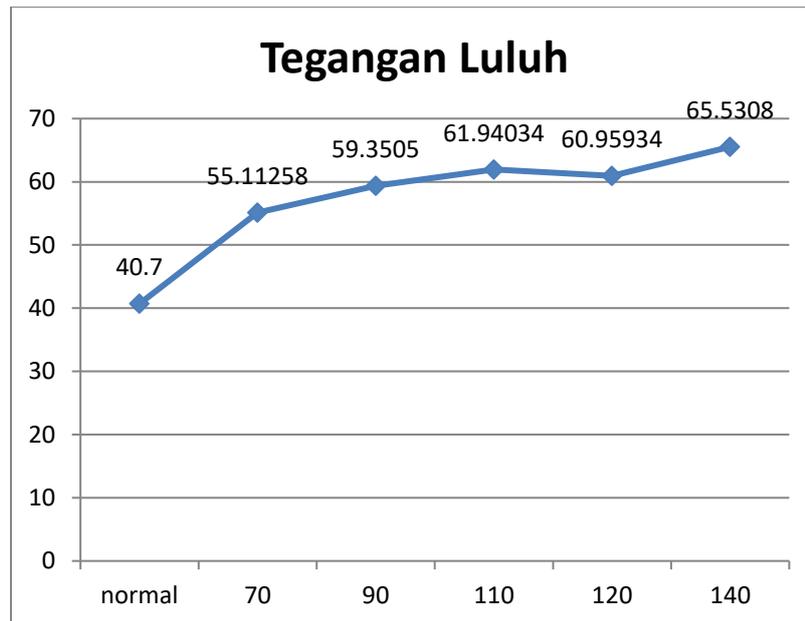
$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{528}{78.5} = 6.72 \text{ kgf/mm}^2$$

e. Pendinginan Campuran

$$\text{Maka, } \sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{520}{78.5} = 6.62 \text{ kgf/mm}^2$$

Pendinginan	Tegangan Luluh				
	70	90	110	120	140
Air sabun	59.9391	57.9771	60.9201	60.9201	69.9453
Air Hujan	56.898	54.936	63.9612	63.9612	61.9011
Pasir	54.936	60.9201	61.9011	63.9612	64.9422
Udara	51.8949	62.9802	63.9612	52.974	65.9232
Campuran	51.8949	59.9391	58.9581	62.9802	64.9422
Rata- Rata	55.1126	59.3505	61.9403	60.9593	65.5308

Tabel 4.6 Tabel hasil pengujian



Gambar grafik 4.6 Suhu dan pendinginan

Berdasarkan hasil rata – rata tegangan luluh pada selubung PVC 6.17 kgf/mm² nilai ini masih sesuai dengan tabel 2.1, dari grafik disimpulkan tegangan luluh dari sebuah PVC mempengaruhi pemuluran dari suatu bahan dengan variasi pendinginan.

4.2.1.2 Ultimate Strength/ Tegangan maksimum (σ_u)

Ultimate Strength atau tegangan maksimum adalah tegangan yang maksimal yang tergantung oleh logam/material tersebut sebelum terjadi Fracture (perpatahan).

Pada saat ini deformasi terus terjadi, namun beban berkurang secara perlahan.

Tegangan maksimum dapat diperoleh dengan memakai rumus:

$$\sigma_m = \frac{F_{maksimum}}{A_0}$$

dimana:

σ_m = Tegangan maksimum/Ultimate Strength material(N/mm²)

$F_{maksimum}$ = Beban maksimum yang dapat ditanggung material (lihat pada mesin uji)(N)

A_0 = Luas Penampang awal (mm²)

Nilai Tegangan Maksimum Untuk Masing-Masing Spesimen Adalah :

A. Spesimen Pemanasan 70⁰ C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{\text{maksimum}}}{A_0} = \frac{600}{78.5} = 7.64 \text{ kgf/mm}^2$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{\text{maksimum}}}{A_0} = \frac{570}{78.5} = 7.26 \text{ kgf/mm}^2$$

c Pendinginan pasir

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{\text{maksimum}}}{A_0} = \frac{550}{78.5} = 7.00 \text{ kgf/mm}^2$$

d Pendinginan udara

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{\text{maksimum}}}{A_0} = \frac{520}{78.5} = 6.62 \text{ kgf/mm}^2$$

e Pendinginan campuran

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{\text{maksimum}}}{A_0} = \frac{520}{78.5} = 6.62 \text{ kgf/mm}^2$$

B. Spesimen Pemanasan 90⁰ C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{\text{maksimum}}}{A_0} = \frac{580}{78.5} = 7.38 \text{ kgf/mm}^2$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{\text{maksimum}}}{A_0} = \frac{550}{78.5} = 7.00 \text{ kgf/mm}^2$$

c Pendinginan pasir

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{\text{maksimum}}}{A_0} = \frac{610}{78.5} = 7.77 \text{ kgf/mm}^2$$

d Pendinginan udara

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{\text{maksimum}}}{A_0} = \frac{630}{78.5} = 8.02 \text{ kgf/mm}^2$$

e Pendinginan campuran

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{\text{maksimum}}}{A_0} = \frac{600}{78.5} = 7.64 \text{ kgf/mm}^2$$

C. Spesimen Pemanasan 110⁰ C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{\text{maksimum}}}{A_0} = \frac{610}{78.5} = 7.70 \text{ kgf/mm}^2$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{\text{maksimum}}}{A_0} = \frac{640}{78.5} = 8.15 \text{ kgf/mm}^2$$

c Pendinginan pasir

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{\text{maksimum}}}{A_0} = \frac{620}{78.5} = 7.89 \text{ kgf/mm}^2$$

d Pendinginan udara

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{\text{maksimum}}}{A_0} = \frac{640}{78.5} = 8.15 \text{ kgf/mm}^2$$

e Pendinginan campuran

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{\text{maksimum}}}{A_0} = \frac{590}{78.5} = 7.51 \text{ kgf/mm}^2$$

D. Spesimen Pemanasan 120⁰ C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{\text{maksimum}}}{A_0} = \frac{610}{78.5} = 7.77 \text{ kgf/mm}^2$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{\text{maksimum}}}{A_0} = \frac{640}{78.5} = 8.15 \text{ kgf/mm}^2$$

c Pendinginan pasir

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{\text{maksimum}}}{A_0} = \frac{640}{78.5} = 8.15 \text{ kgf/mm}^2$$

d Pendinginan udara

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{maksimum}}{A_0} = \frac{530}{78.5} = 6.75 \text{ kgf/mm}^2$$

e Pendinginan campuran

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{maksimum}}{A_0} = \frac{630}{78.5} = 8.02 \text{ kgf/mm}^2$$

E. Spesimen Pemanasan 140⁰ C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{maksimum}}{A_0} = \frac{700}{78.5} = 8.91 \text{ kgf/mm}^2$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{maksimum}}{A_0} = \frac{620}{78.5} = 7.89 \text{ kgf/mm}^2$$

c Pendinginan pasir

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{maksimum}}{A_0} = \frac{650}{78.5} = 8.28 \text{ kgf/mm}^2$$

d Pendinginan udara

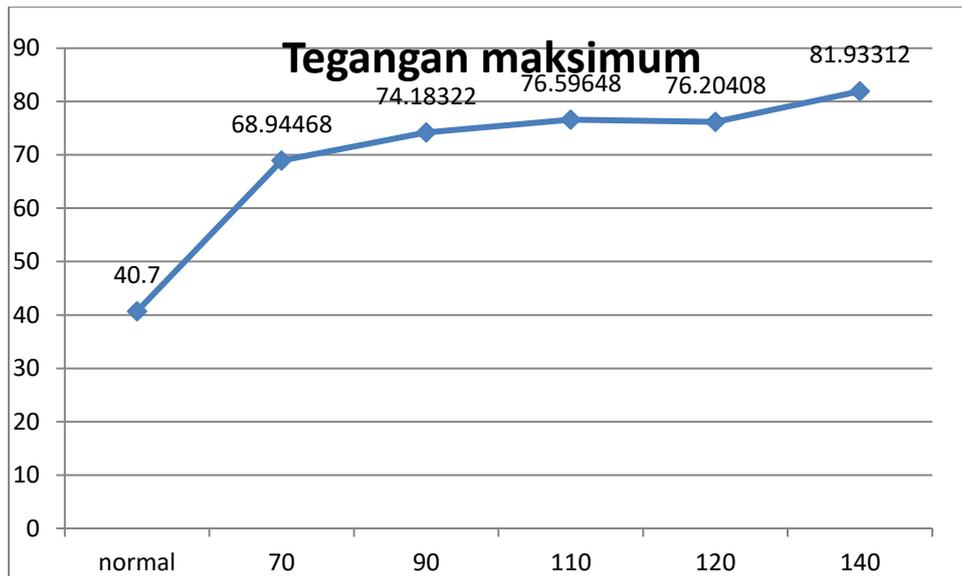
$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{maksimum}}{A_0} = \frac{660}{78.5} = 8.40 \text{ kgf/mm}^2$$

e Pendinginan campuran

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{F_{maksimum}}{A_0} = \frac{650}{78.5} = 8.28 \text{ kgf/mm}^2$$

Pendinginan	Tegangan Maksimum				
	70	90	110	120	140
Air sabun	74.9484	72.3978	75.537	76.2237	87.4071
Air Hujan	71.2206	68.67	79.9515	79.9515	77.4009
Pasir	68.67	76.2237	77.4009	79.9515	81.2268
Udara	64.9422	78.6762	79.9515	66.2175	82.404
Campuran	64.9422	74.9484	70.1415	78.6762	81.2268
Rata- Rata	68.9447	74.1832	76.5965	76.2041	81.9331

Tabel 4.7 Tabel pengujian



Gambar grafik 4.7 Suhu dan pendinginan

Berdasarkan hasil rata – rata tegangan maksimum pada selubung PVC 7.70 kgf/mm² nilai ini masih sesuai dengan tabel 2.1, dari grafik disimpulkan tegangan maksimum dari sebuah PVC mempengaruhi pemuluran dari suatu bahan dengan variasi pendinginan.

4.2.1.3 Tegangan Patah

Tegangan Patah/ Fracture Strength adalah tegangan yang menyebabkan suatu material patah. Tegangan ini dapat dicari dengan :

$$\sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0}$$

Dimana :

σ_f = Tegangan Fracture/Fracture Strength (kgf/mm²)

$F_{fracture}$ = Beban yang menyebabkan logam patah (kg)

A_0 = Luas Penampang awal (mm²)

Nilai Tegangan Patah untuk masing-masing spesimen adalah :

A. Spesimen Pemanasan 70⁰ C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{440}{78.5} = 5.60 \text{ kgf/mm}^2$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{440}{78.5} = 5.60 \text{ kgf/mm}^2$$

c Pendinginan pasir

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{450}{78.5} = 5.73 \text{ kgf/mm}^2$$

d Pendinginan udara

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{440}{78.5} = 5.60 \text{ kgf/mm}^2$$

e Pendinginan campuran

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{450}{78.5} = 5.73 \text{ kgf/mm}^2$$

B. Spesimen Pemanasan 90⁰ C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{450}{78.5} = 5.73 \text{ kgf/mm}^2$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{440}{78.5} = 5.60 \text{ kgf/mm}^2$$

c Pendinginan pasir

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{440}{78.5} = 5.60 \text{ kgf/mm}^2$$

d Pendinginan udara

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{450}{78.5} = 5.73 \text{ kgf/mm}^2$$

e Pendinginan campuran

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{450}{78.5} = 5.73 \text{ kgf/mm}^2$$

C. Spesimen Pemanasan 110⁰ C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{440}{78.5} = 5.60 \text{ kgf/mm}^2$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{450}{78.5} = 5.73 \text{ kgf/mm}^2$$

c. Pendinginan pasir

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{450}{78.5} = 5.73 \text{ kgf/mm}^2$$

d. Pendinginan udara

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{450}{78.5} = 5.73 \text{ kgf/mm}^2$$

e. Pendinginan campuran

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{450}{78.5} = 5.73 \text{ kgf/mm}^2$$

D. Spesimen Pemanasan 120⁰ C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{440}{78.5} = 5.60 \text{ kgf/mm}^2$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{450}{78.5} = 5.73 \text{ kgf/mm}^2$$

c. Pendinginan pasir

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{440}{78.5} = 5.60 \text{ kgf/mm}^2$$

d. Pendinginan udara

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{450}{78.5} = 5.73 \text{ kgf/mm}^2$$

e. Pendinginan campuran

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{450}{78.5} = 5.73 \text{ kgf/mm}^2$$

E. Spesimen Pemanasan 140° C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{440}{78.5} = 5.60 \text{ kgf/mm}^2$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{440}{78.5} = 5.60 \text{ kgf/mm}^2$$

c. Pendinginan pasir

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{440}{78.5} = 5.60 \text{ kgf/mm}^2$$

d. Pendinginan udara

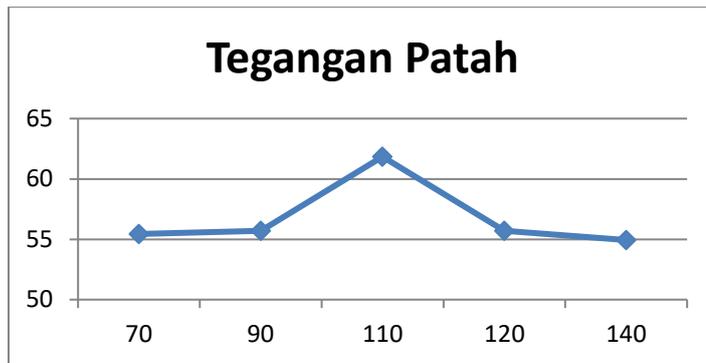
$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{440}{78.5} = 5.60 \text{ kgf/mm}^2$$

e. Pendinginan campuran

$$\text{maka : } \sigma_f = \frac{F_{fracture}}{A_0} = \frac{440}{78.5} = 5.60 \text{ kgf/mm}^2$$

Pendinginan	Tegangan Patah				
	70	90	110	120	140
Air sabun	54.936	56.2113	54.936	54.936	54.936
Air Hujan	54.936	54.936	56.2113	56.2113	54.936
Pasir	56.2113	54.936	66.0213	54.936	54.936
Udara	54.936	56.2113	66.0213	56.2113	54.936
Campuran	56.2113	56.2113	66.0213	56.2113	54.936
Rata- Rata	55.4461	55.7012	61.8422	55.7012	54.936

Tabel hasil penujian 4.8



Gambar 4.8. Grafik Suhu dan pendinginan

Berdasarkan hasil rata – rata tegangan pemuluran pada selubung PVC 20.26 kgf/mm² nilai ini masih sesuai dengan tabel 2.1, dari grafik disimpulkan tegangan pemuluran dari sebuah PVC mempengaruhi sifat dari suatu bahan dengan variasi pendinginan.

4.2.1.4. Nilai Regangan/ Elongasi (ϵ)

Elongansi adalah pertambahan panjang sebuah material, Semakin panjang pertambahan panjang dari sebuah material, maka material tersebut dikatakan semakin ductile (ulet). Elongasi dapat dirumuskan:

$$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100\%$$

Dimana:

ϵ = Elongasi/Perpanjangan material (%)

l_f = Panjang akhir spesimen/material yaitu saat spesimen patah atau mengalami fracture (mm)

l_o = Panjang awal spesimen/material (mm)

Maka nilai regangan untuk masing-masing spesimen adalah :

A. Spesimen Selubung PVC Pemanasan 70⁰ C

a. Pendinginan Air Sabun

$$\text{Maka, } \epsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \times 100\% = \frac{4.5}{18} \times 100\% = 25\%$$

b. Pendinginan Air hujan

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{4.5}{18} \times 100\% = 25\%$$

c. Pendinginan Campuran

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{4}{18} \times 100\% = 22\%$$

d. Pendinginan Pasir

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{5.4}{18} \times 100\% = 30\%$$

e. Pendinginan Udara

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{6}{18} \times 100\% = 30\%$$

B. Spesimen Selubung PVC Pemanasan 90⁰ C

a. Pendinginan Air Sabun

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{5.5}{18} \times 100\% = 30.6\%$$

b. Pendinginan Air Hujan

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{5.5}{18} \times 100\% = 30.6\%$$

c. Pendinginan Campuran

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{3.5}{18} \times 100\% = 19.4\%$$

d. Pendinginan Pasir

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{5.5}{18} \times 100\% = 30.6\%$$

e. Pendinginan Udara

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{6.5}{18} \times 100\% = 36.1\%$$

C. Specimen Selubung PVC Pemanasan 110⁰ C

a. Pendinginan Air Sabun

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{3}{18} \times 100\% = 16.7\%$$

b. Pendinginan Air Hujan

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{4}{18} \times 100\% = 22.2\%$$

c. Pendinginan Campuran

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{4}{18} \times 100\% = 22.2\%$$

d. Pendinginan Pasir

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{4.5}{18} \times 100\% = 25\%$$

e. Pendinginan Udara

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{3.5}{18} \times 100\% = 19.4\%$$

D. Specimen Selubung PVC Pemanasan 120⁰ C

a. Pendinginan Air Sabun

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{3.5}{18} \times 100\% = 19.4\%$$

b. Pendinginan Air Hujan

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{4.5}{18} \times 100\% = 25\%$$

c. Pendinginan Campuran

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{3.3}{18} \times 100\% = 18.3\%$$

d. Pendinginan Pasir

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{6.5}{18} \times 100\% = 36.1\%$$

e. Pendinginan Udara

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{4}{18} \times 100\% = 22.2\%$$

E. Specimen Selubung PVC Pemanasan 140⁰ C

a. Pendinginan Air Sabun

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{3.5}{18} \times 100\% = 19.4\%$$

b. Pendinginan Air Hujan

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{4.5}{18} \times 100\% = 25\%$$

c. Pendinginan Campuran

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{4.5}{18} \times 100\% = 25\%$$

d. Pendinginan Pasir

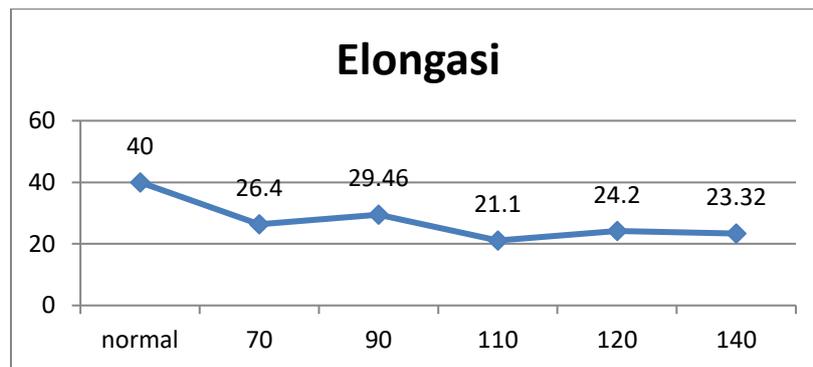
$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{5}{18} \times 100\% = 27.8 \%$$

e. Pendinginan Udara

$$\text{Maka, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{3.5}{18} \times 100\% = 19.4 \%$$

Pendinginan	Elongasi				
	70	90	110	120	140
Air sabun	25	30.6	16.7	19.4	19.4
Air Hujan	25	30.6	22.2	25	25
Pasir	22	19.4	22.2	18.3	25
Udara	30	30.6	25	36.1	27.8
Campuran	30	36.1	19.4	22.2	19.4
rata rata	26.4	29.46	21.1	24.2	23.32

Tabel hasil pengujian 4.9



Gambar grafik 4.9 Suhu dan pendinginan

Berdasarkan hasil rata – rata elongasi tertinggi pada selubung PVC 29.46 % nilai ini masih sesuai dengan SPLN 41 – 1 - 1991, dari grafik disimpulkan elongasi dari sebuah PVC mempengaruhi sifat dari suatu bahan dengan variasi pendinginan.

4.2.1.5 Nilai Modulus Elastisitas

Modulus Elastisitas (E) adalah ukuran dari kekakuan dari suatu material. Dimana semakin tinggi angka Modulus ini maka berarti Material tersebut semakin kaku (Getas). Rumus dari Modulus Elastisitas adalah:

$$E = \frac{\sigma_y}{\varepsilon}$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas

σ_y = Tegangan Luluh

ε = Regangan (%)

Nilai Modulus Elastisitas untuk masing-masing spesimen adalah :

A. Spesimen Pemanasan 70⁰ C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{maka : } E = \frac{6.11}{25 \%} = 24.44$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{maka : } E = \frac{5.80}{25 \%} = 23.2$$

c. Pendinginan pasir

$$\text{maka : } E = \frac{5.60}{22 \%} = 25.45$$

d. Pendinginan udara

$$\text{maka : } E = \frac{5.29}{30 \%} = 17.63$$

e. Pendinginan campuran

$$\text{maka : } E = \frac{5.29}{30 \%} = 17.63$$

B. Spesimen Pemanasan 90⁰ C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{maka : } E = \frac{5.91}{30.6 \%} = 19.31$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{maka : } E = \frac{5.60}{30.6 \%} = 18.30$$

c. Pendinginan pasir

$$\text{maka : } E = \frac{6.21}{19.4 \%} = 32.01$$

d. Pendinginan udara

$$\text{maka : } E = \frac{6.42}{30.6 \%} = 20.98$$

e. Pendinginan campuran

$$\text{maka : } E = \frac{6.11}{36.1 \%} = 19.33$$

C. Spesimen Pemanasan 110⁰ C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{maka : } E = \frac{6.21}{16.7 \%} = 37.18$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{maka : } E = \frac{6.52}{22.2\%} = 29.36$$

c Pendinginan pasir

$$\text{maka : } E = \frac{6.31}{22.2 \%} = 28.42$$

d Pendinginan udara

$$\text{maka : } E = \frac{6.52}{25 \%} = 26.08$$

e Pendinginan campuran

$$\text{maka : } E = \frac{6.01}{19.4 \%} = 30.97$$

D. Spesimen Pemanasan 120⁰ C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{maka : } E = \frac{6.21}{19.4 \%} = 32.01$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{maka : } E = \frac{6.25}{25 \%} = 26.08$$

c Pendinginan pasir

$$\text{maka : } E = \frac{6.52}{18.3 \%} = 35.62$$

d Pendinginan udara

$$\text{maka : } E = \frac{5.40}{36.1 \%} = 14.95$$

e Pendinginan campuran

$$\text{maka : } E = \frac{6.42}{22.2 \%} = 28.91$$

E. Spesimen Pemanasan 140⁰ C

a. Pendinginan air sabun

$$\text{maka : } E = \frac{7.13}{19.4 \%} = 36.75$$

b. Pendinginan air hujan

$$\text{maka : } E = \frac{6.31}{25 \%} = 25.24$$

c Pendinginan pasir

$$\text{maka : } E = \frac{6.62}{25\%} = 26.48$$

d Pendinginan udara

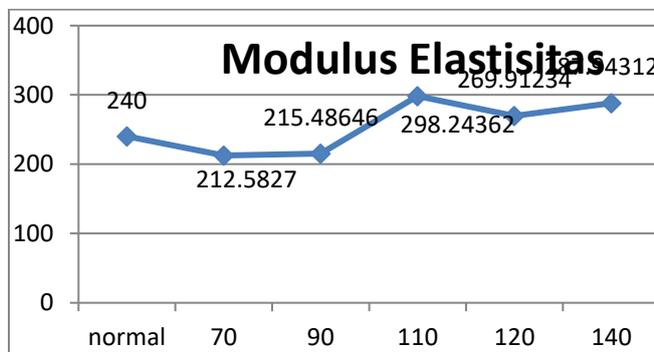
$$\text{maka : } E = \frac{6.72}{27.8\%} = 24.17$$

e Pendinginan campuran

$$\text{maka : } E = \frac{6.62}{19.4\%} = 34.12$$

Pendinginan	Modulus Elastisitas				
	70	90	110	120	140
Air sabun	239.756	189.431	364.736	314.018	360.518
Air Hujan	227.592	179.523	288.022	255.845	247.604
Pasir	249.665	314.018	278.8	349.432	259.769
Udara	172.95	205.814	255.845	146.66	237.108
Campuran	172.95	188.646	303.816	283.607	334.717
rata rata	212.583	215.486	298.244	269.912	287.943

Tabel 4.10 Tabel hasil pengujian



Gambar grafik 4.10 Suhu dan pendinginan

Berdasarkan hasil rata – rata modulus elastisitas pada selubung PVC 130.90 MPa, dari grafik disimpulkan modulus elastisitas dari sebuah PVC mempengaruhi sifat dari suatu bahan dengan variasi pendinginan.

4.4 Hasil Uji Metallography

Sifat-sifat material terutama sifat mekanis sangat mempengaruhi mikro struktur logam dan paduannya. Struktur mikro dari material dapat diubah dengan jalan perlakuan panas ataupun dengan proses perubahan bentuk (deformasi) dari logam yang akan diuji.. Pengujian struktur mikro ini dilakukan dengan menggunakan SEM (Scanning Electron Microscopy) merek Hitachi dengan tipe TM3000. Pengujian mikrostruktur

ini dilakukan dengan pembesaran 500X, 1000X. Gambar spesimen foto mikro dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



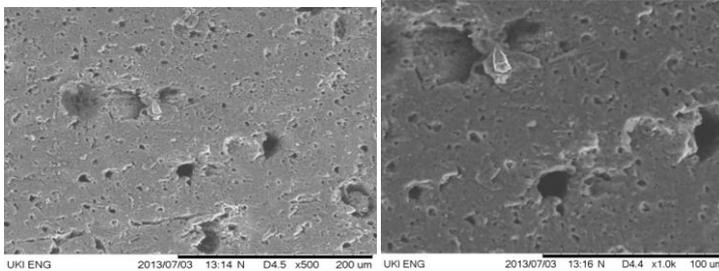
Gambar 4.8

Spesimen foto mikro

Pengujian Specimen konduktor tembaga ini dibakar pada suhu 70° , 90° , 110° , 120° dan 140° dengan lima macam pendinginan yaitu : Air sabun, Air Hujan, Pasir, Udara, dan Campuran.

Berikut ini adalah gambar dari hasil pengujian dengan struktur mikro.

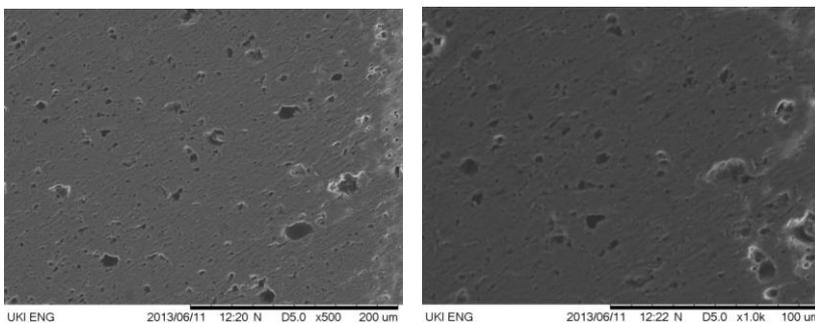
4.4.1. Gambar struktur mikro Selubung PVC sebelum di lakukan perlakuan panas, dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Struktur Mikro selubung PVC sebelum di lakukan perlakuan panas. (a) Perbesaran 500X, (b) Perbesaran 1000X.

4.4.2. Gambar struktur mikro selubung PVC setelah di lakukan perlakuan panas 70° , 110° dan 140° dengan pendinginan **Air hujan**. Berikut adalah gambar tersebut :

1. Pemanasan 70° , dengan media Air Hujan dapat dilihat pada gambar 4.10

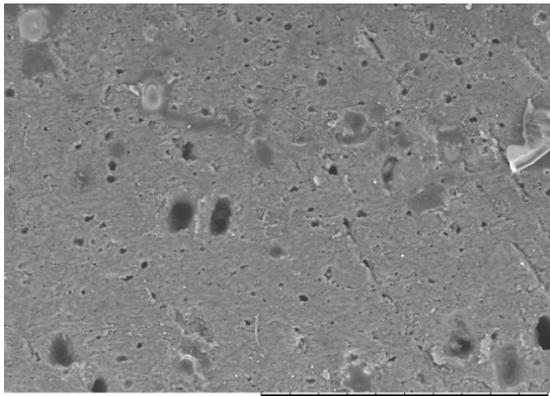


(a)

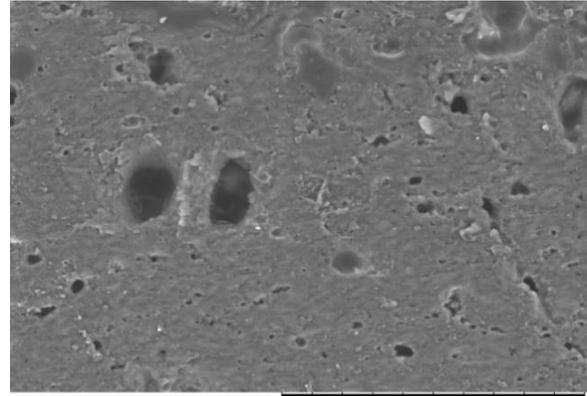
(b)

Gambar 4.10 Struktur Mikro Selubung PVC setelah di lakukan perlakuan panas 70° C dan didinginkan dengan media Air Hujan (a) Perbesaran 500X, (b) Perbesaran 1000X

2. Pemanasan 110°C dan didinginkan dengan Air Hujan dapat dilihat pada gambar 4.11.



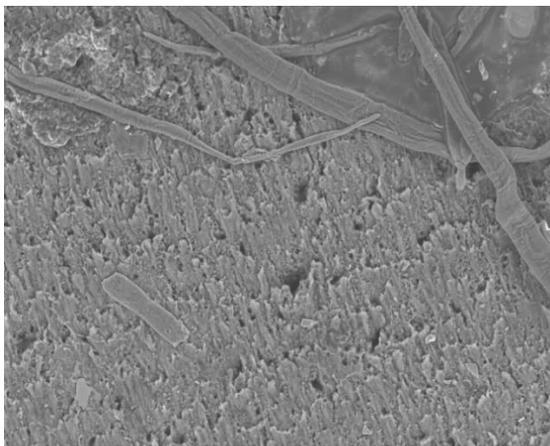
(a)



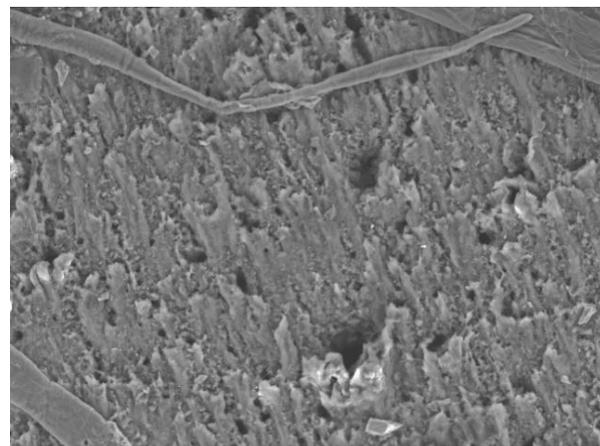
(b)

Gambar 4.11 Struktur Mikro Selubung PVC setelah di lakukan perlakuan panas 110°C dan didinginkan dengan media Air Hujan (a) Perbesaran 500X, (b) Perbesaran 1000X

3. Pemanasan 140°C dan didinginkan dengan Air Hujan dapat dilihat pada gambar 4.12



(a)

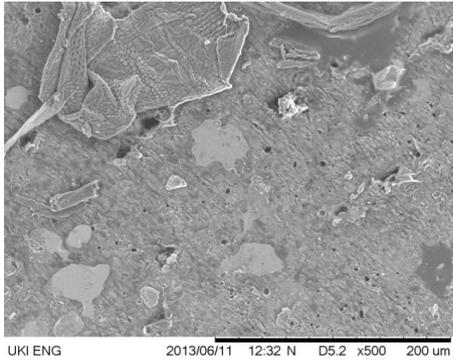


(b)

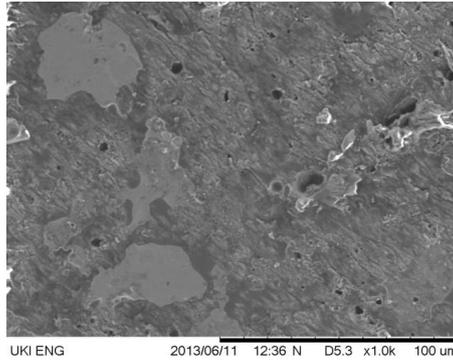
Gambar 4.12 Struktur Mikro specimen tembaga setelah dilakukan perlakuan panas 140°C dan didinginkan dengan media Air Hujan (a) Perbesaran 500X, (b) Perbesaran 1000X

4.4.2. Gambar struktur mikro selubung PVC setelah di lakukan perlakuan panas 70° , 110° dan 140° dengan pendinginan **Air Sabun** Berikut adalah gambar tersebut :

1. Pemanasan 70° , dengan media Air Sabun dapat dilihat pada gambar 4.10



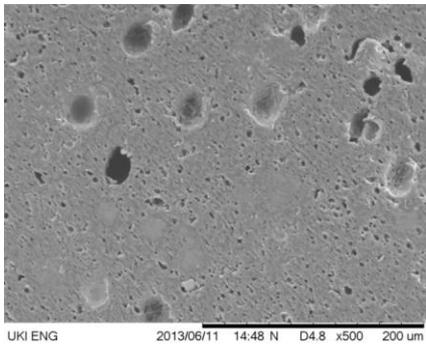
(a)



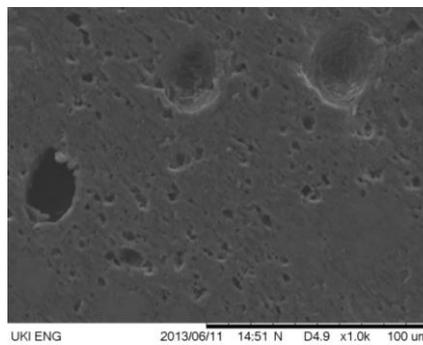
(b)

Gambar 4.10 Struktur Mikro Selubung PVC setelah di lakukan perlakuan panas 70°C dan didinginkan dengan media Air Sabun (a) Perbesaran 500X, (b) Perbesaran 1000X

2. Pemanasan 110°C dan didinginkan dengan Air Sabun dapat dilihat pada gambar 4.11.



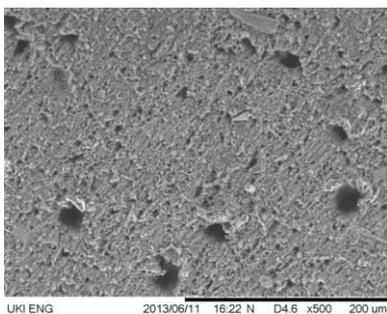
(a)



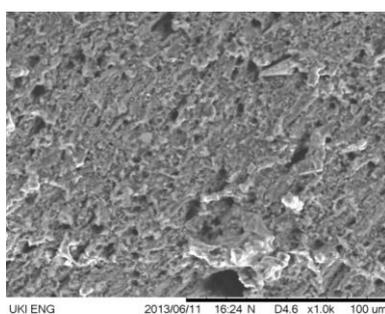
(b)

Gambar 4.11 Struktur Mikro Selubung PVC setelah di lakukan perlakuan panas 110°C dan didinginkan dengan media Air Sabun (a) Perbesaran 500X, (b) Perbesaran 1000X

3. Pemanasan 140°C dan didinginkan dengan Air Sabun dapat dilihat pada gambar 4.12



(a)

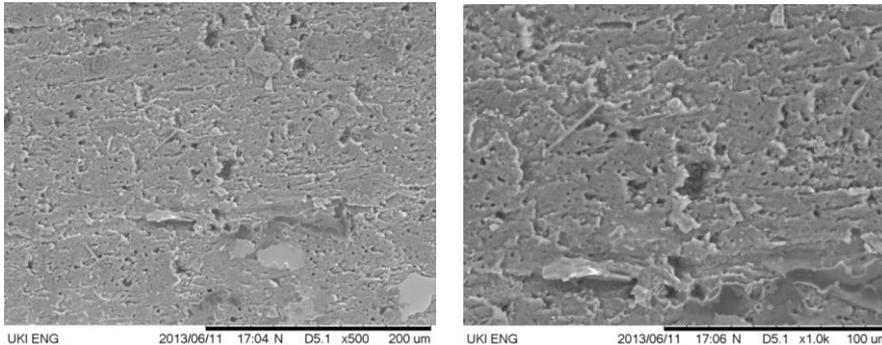


(b)

Gambar 4.12 Struktur Mikro specimen tembaga setelah dilakukan perlakuan panas 140°C dan didinginkan dengan media Air Sabun (a) Perbesaran 500X, (b) Perbesaran 1000X

4.4.2. Gambar struktur mikro selubung PVC setelah di lakukan perlakuan panas 70° , 110° dan 140° dengan pendinginan **Campuran** Berikut adalah gambar tersebut :

1. Pemanasan 70° , dengan media Campuran dapat dilihat pada gambar 4.10

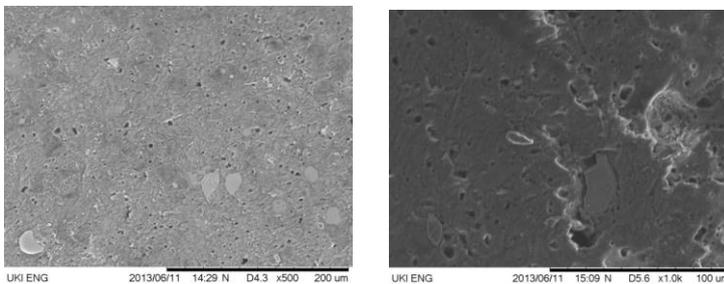


(a)

(b)

Gambar 4.10 Struktur Mikro Selubung PVC setelah di lakukan perlakuan panas 70° C dan didinginkan dengan media Campuran (a) Perbesaran 500X, (b) Perbesaran 1000X

2. Pemanasan 110° C dan didinginkan dengan Campuran dapat dilihat pada gambar 4.11.

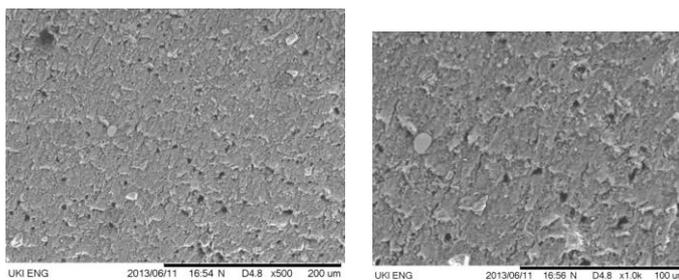


(a)

(b)

Gambar 4.11 Struktur Mikro Selubung PVC setelah di lakukan perlakuan panas 110° C dan didinginkan dengan media Campuran (a) Perbesaran 500X, (b) Perbesaran 1000X

3. Pemanasan 140° C dan didinginkan dengan Campuran dapat dilihat pada gambar 4.12



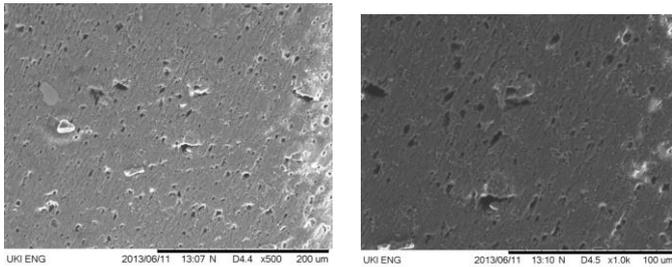
(a)

(b)

Gambar 4.12 Struktur Mikro specimen tembaga setelah dilakukan perlakuan panas 140° C dan didinginkan dengan media Campuran (a) Perbesaran 500X, (b) Perbesaran 1000X

4.4.2. Gambar struktur mikro selubung PVC setelah di lakukan perlakuan panas 70° , 110° dan 140° dengan pendinginan **Pasir**. Berikut adalah gambar tersebut :

1. Pemanasan 70° , dengan media Pasir dapat dilihat pada gambar 4.10

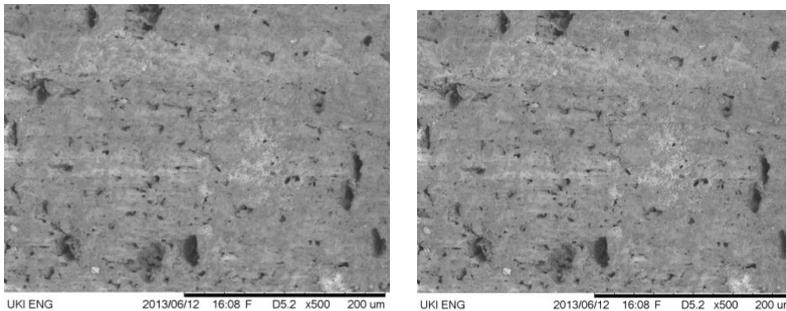


(a)

(b)

Gambar 4.10 Struktur Mikro Selubung PVC setelah di lakukan perlakuan panas 70° C dan didinginkan dengan media **Pasir** (a) Perbesaran 500X, (b) Perbesaran 1000X

2. Pemanasan 110° C dan didinginkan dengan Pasir dapat dilihat pada gambar 4.11.

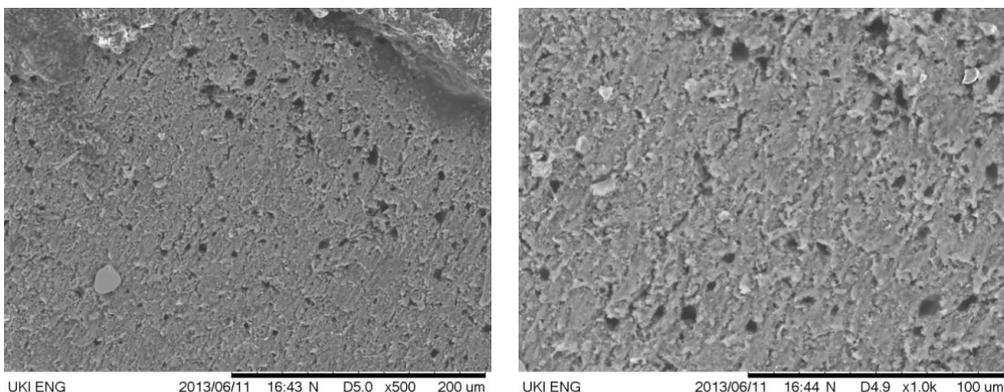


(a)

(b)

Gambar 4.11 Struktur Mikro Selubung PVC setelah di lakukan perlakuan panas 110° C dan didinginkan dengan media **Pasir** (a) Perbesaran 500X, (b) Perbesaran 1000X

3. Pemanasan 140° C dan didinginkan dengan Pasir dapat dilihat pada gambar 4.12



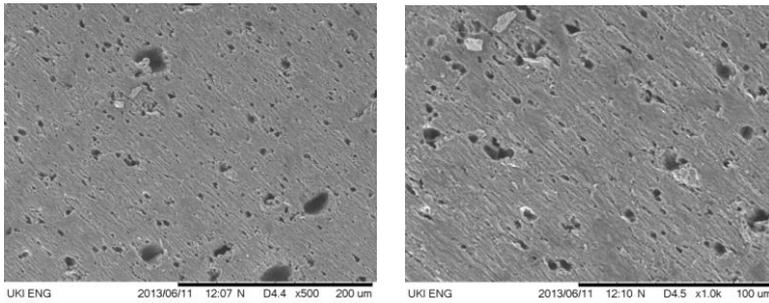
(a)

(b)

Gambar 4.12 Struktur Mikro Selubung PVC setelah dilakukan perlakuan panas 140° C dan didinginkan dengan media Pasir (a) Perbesaran 500X, (b) Perbesaran 1000X

4.4.2. Gambar struktur mikro selubung PVC setelah di lakukan perlakuan panas 70° , 110° dan 140° dengan pendinginan **Udara**. Berikut adalah gambar tersebut :

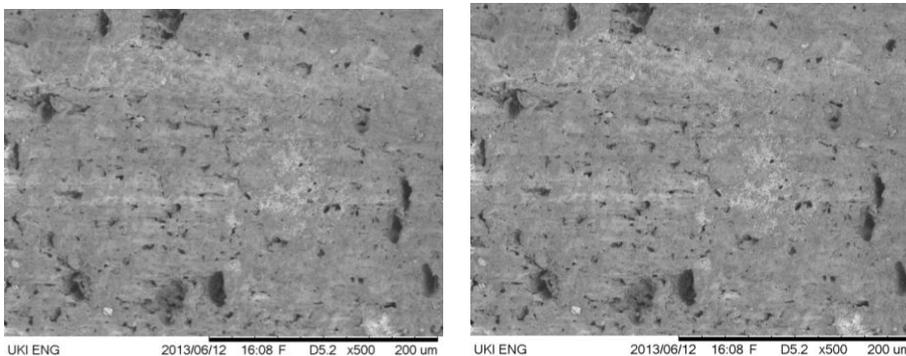
1. Pemanasan 70° , dengan media Udara dapat dilihat pada gambar 4.10



(a) (b)

Gambar 4.10 Struktur Mikro Selubung PVC setelah di lakukan perlakuan panas 70° C dan didinginkan dengan media **Udara** (a) Perbesaran 500X, (b) Perbesaran 1000X

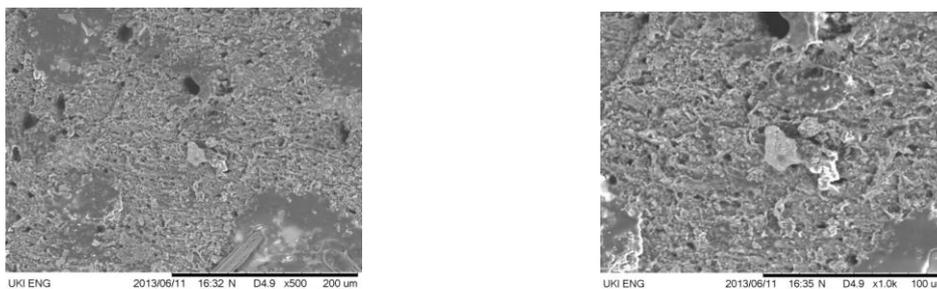
2. Pemanasan 110° C dan didinginkan dengan **Udara** dapat dilihat pada gambar 4.11.



(a) (b)

Gambar 4.11 Struktur Mikro Selubung PVC setelah di lakukan perlakuan panas 110° C dan didinginkan dengan media **Udara** (a) Perbesaran 500X, (b) Perbesaran 1000X

3. Pemanasan 140° C dan didinginkan dengan **Udara** dapat dilihat pada gambar 4.12



(a) (b)

Gambar 4.12 Struktur Mikro Selubung PVC setelah dilakukan perlakuan panas 140° C dan didinginkan dengan media **Udara** (a) Perbesaran 500X, (b) Perbesaran 1000X

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari pengujian ini adalah :

1. Dari setiap pengujian sifat mekanis hasil yang didapat: Tegangan luluh (65,53 MPa); Tegangan maksimum (81.93 MPa); Elongasi (29.46%) ;Modulus elastisitas (29824 MPa). Dari perhitungan sifat mekanis isolasi dan selubung PVC masih sesuai dengan karakteristik dari polimer.,sesuai dengan tabel 2.1
2. Dari hasil foto mikro terlihat bahwa struktur yang terdapat pada selubung PVC pada kabel NYM 3 x 2.5 mm² adalah: C (Karbon), H (Hidrogen), Cl (Klorida)
3. Sampai temperatur akibat radiasi panas tertinggi yaitu 140°C, karakteristik selubung PVC pada kabel NYM 3 x 2.5 mm² masih memenuhi standar SPLN dan SNI untuk menjadi kabel instalasi pada gedung bertingkat, mengacu pada hasil pengujian diatas.

5.2 Saran

Dengan keterbatasan waktu dan dana, maka saran penulis agar penelitian ini terus dikembangkan dengan memperhatikan masukan-masukan dan kekurangan yang dihasilkan,seperti :

1. Sebaiknya dilakukan pengujian lebih lanjut mengenai konduktivitas dan resistivitas kabel tersebut dari kabel utuh NYM 3 x 2.5 mm² karena merupakan faktor penting menjadi layak atau tidaknya sebuah kabel digunakan untuk instalasi gedung bertingkat.
2. Pada waktu pengujian SEM pada selubung PVC kabel utuh NYM 3 x 2.5 mm² diperlukan ketelitian saat mengampelas dan memoles, karena pada saat pengambilan foto stuktur mikro bisa tidak terbaca/terlihat hasilnya itu dikarenakan pengamplasan yang salah dan pemolesannya.
3. Untuk penelitian lebih lanjut agar peralatan pengujian lebih dilengkapi,agar penelitian lebih sempurna, misal dengan menggunakan SEM-EDX atau XRD.

DAFTAR PUSTAKA

1. Standar Perusahaan Umum Listrik Negara, "*Kabel berisolasi dan Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500Volt (NYM)*", Jakarta : SPLN 1992.
2. International Electrotechnical Commission "*extruded solid dielectric insulated power cables for rated voltages from 1kV up to 30 kV*" IEC 502 1983
3. Badan Standarisasi Nasional "*metode pengujian kabel listrik*" SNI 1995
4. Standar Perusahaan Umum Listrik Negara "*characteristic of string insulator unit of the cap and pin type*" SPLN- 10 : 1978
5. Standar Perusahaan Umum Listrik Negara "*pengujian kabel listrik*"SPLN -39-1:1981
6. Standar Perusahaan Umum Listrik Negara "*persyaratan penghantar tembaga dan aluminium untuk kabel listrik berisolasi*
7. Standar Perusahaan Umum Listrik Negara "*persyaratan komponen PVC untuk isolasi dan selubung kabel listrik*" Jakarta : SPLN 1991
8. Standar Perusahaan Umum Listrik Negara "*kabel berisolasi berselubung PVC tegangan pengenal 300/500 volt (NYM)*" Jakarta : SPLN 1992
9. Setiabudy, Rudy, "*Material Teknik Listrik*", Edisi pertama, Jakarta : UI-Press, 2007.
10. Farizandi, Dananto., "*Analisis Karakteristik Penghantar Kabel Fleksibel Dengan Penghantar Kabel Inti Tunggal NYM 2,5 mm² Dan 4mm²*" Skripsi, S1
Departemen Teknik Elektro FTUI, Depok, Juli 2004
11. Falcon, Rafael., "*Analisis Karakteristik Termal dan resistansi konduktor pada Kabel Inti ganda NYM 2,5 mm² Dan 4mm²*" Skripsi, S1
Departemen Teknik Elektro FTUI, Depok, Juli 2004
12. ASTM B2-70 : Standard specification for Medium- Hard- Draw Copper wire
13. ASTM B2-74 : Standard specification for Soft or Annealed Copper wire
14. ASTM B4-79 : Standard specification for Tough- Pitch Copper Reninery shapes

15. Beaty Wayne H, Fink G. Donald, *Standard Handbook for Electrical Engineers*, edisi 5, bab 4, 1993
16. Bhan Suraj, DR, *Practical Physical Metalurgy*, Kanna Pubisher, Delhi, 1973
17. Biro Bina penyusunan Program DKI Jakarta, PT. Darma Permai Kurnia, *Final Report Study; Evaluasi Kebakaran bangunan akibat listrik di DKI Jakarta, 1995-1996*
18. Boyer H.E., *Metal handbook, vol 11: non destructive and Quality control*, edisi 8, Ohio, America Society Metal, 1976
19. Brandup J., E.H. Immergut, *Polimer Handbook*, edisi 3, Penerbit John Willey & Sons, 1989
20. Budiman Masgunarto. Ir.Msc, *Penjelasan tentang standar Kabel Listrik tegangan rendah kabel fleksibel*, Jakarta 1992
21. D. Mc. Allister, *Electric Cables Handbook*, edisi 2, Penerbit Granada, 1983
22. Doan G.E., *The principles of Physical Metalurgy*, edisi 3, international stident edition, Mc.Graw- Hill Book Company.inc, 1953
23. Fire department, *Fire investigation by fire service organization in Japan*, Nagoya City, 1990
24. Fire department, *Procedure for investigating Fire related to electricity*, Nagoya City, 1990
25. Fire department, *Aspect of Polymeris Materials*, volume 1; Materials state of the art, 1977
26. Fire department, *Aspect of Polymeris Materials*, volume 7; Materials state of the art, Building, 1979
27. Harper A. Charles; *handbook of wiring- cabling- and interconnecting for electric*, Mc. Graw- Hill Book Company, 1972
28. IEC 189-2 : Low frequency cables and wires with PVC insulation & PVC sheath
29. IEC 502 : *Extruded solid dielectric insulated Power Cables for Rated Voltage from 1 kV up to 30 kV*, edisi 3, 1982

