



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PENGARUH PROSENTASE BERAT (wt %)
TERHADAP KONDUKTIFITAS DAN KUAT TARIK
PADUAN TEMBAGA – NIOBIUM (Cu – Nb)**

SKRIPSI

**ANTON SURYANTORO
0706199073**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JANUARI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PENGARUH PROSENTASE BERAT (wt %)
TERHADAP KONDUKTIFITAS DAN KUAT TARIK
PADUAN TEMBAGA – NIOBIUM (Cu-Nb)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**ANTON SURYANTORO
0706199073**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JANUARI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Anton Suryantoro

NPM : 0706199073

Tanda Tangan :

Tanggal : 4 Januari 2010



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Anton Suryantoro
NPM : 0706199073
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Seminar : Analisis Pengaruh Prosentase Berat (wt %)
Terhadap Konduktifitas dan Kuat Tarik Paduan
Tembaga – Niobium (Cu – Nb)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Iwa Garniwa M. K. M.T. (.....)
Penguji : Aji Nur Widyanto S.T., M.T (.....)
Penguji : Budi Sudiarto S.T., M.T (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Januari 2010

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Iwa Garniwa M.K MT, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Dr.-Ing. Andika Widya Pramono, M.Sc yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
3. Orang tua, keluarga dan istri tercinta yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
4. Rekan – rekan yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 4 Januari 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anton Suryantoro
NPM : 0706199073
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis Pengaruh Prosentase Berat (wt %) Terhadap Konduktifitas dan Kuat Tarik Paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb)

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia / formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 4 Januari 2010
Yang menyatakan

(Anton Suryantoro)

ABSTRAK

Nama : Anton Suryantoro
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Analisis Pengaruh Prosentase Berat (wt %) Terhadap
Konduktifitas dan Kuat Tarik Paduan Tembaga – Niobium
(Cu – Nb)

Material yang sesuai dengan penghantar listrik yang baik harus mempunyai sifat konduktifitas dan kuat tarik yang baik. Tembaga merupakan material yang paling populer untuk material penghantar listrik. Akan tetapi Tembaga mempunyai kuat tarik yang kurang bagus. Untuk memperbaiki kuat tarik Tembaga dilakukan dengan memadukan material yang lain. Sudah diketahui bahwa Tembaga yang mempunyai kuat tarik tinggi dapat diperoleh dengan memadukan Tembaga dengan logam *refractory* seperti Niobium, Vanadium dan lain – lain. Niobium merupakan material pemuat yang paling cocok karena mempunyai kuat tarik dan konduktifitas yang tinggi. Dari hasil perhitungan regresi linier variabel konduktifitas listrik dan kuat tarik dihasilkan koefisien regresi $-5,1228733 \times 10^{-6}$ dan perhitungan korelasi -1 dengan R 100 %.

Kata kunci:

Tembaga – Niobium (Cu-Nb), konduktifitas, kuat tarik, regresi linier, korelasi.

ABSTRACT

Name : Anton Suryantoro
Study Program: Electrical Engineering
Title : The Influence of Weight Percentage Analysis (wt%) Against
Conductivity and Tensile Strength of Copper – Niobium (Cu–Nb)
Compound

The suitable materials for electrical conductivity device should have high properties of conductivity and tensile strength. Copper is the very common material for its purpose. However, copper has relatively weak tensile strength. One promising approach to improving the strength of copper is to mix it with an alloying material. It is known that quite high strength copper can be produced by alloying copper with refractory metal such as niobium, vanadium, etc. Niobium is suitable alloying material because it's high strength and good in electrical conductivity. The result from the linear regression calculation of the electrical conductivity and tensile strength variable that coefficient regression is $-5,1228733 \times 10^{-6}$ and its correlation is -1 by R 100 %.

Key words:

Copper – Niobium (Cu-Nb), conductivity, tensile strength, linear regression, correlation

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR / UCAPAN TERIMA KASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sifat Tembaga (Cu)	5
2.2 Sifat Niobium (Nb)	8
2.3 Konduktifitas Listrik Material	13
2.4 Kuat Tarik Material	14
2.5 Regresi Linier	18
2.6 Korelasi	19
BAB 3 PEMROGRAMAN VISUAL BASIC	21
3.1 Pemrograman Visual Berbasis Objek	21
3.2 Algoritma <i>Software</i> Pengaruh Prosentase Berat (wt %) Terhadap Konduktifitas dan Kuat Tarik Paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb)	22
3.3 Penggunaan Form dan Kontrol	23
3.4 Perhitungan Konduktifitas	25
3.5 Perhitungan Kuat Tarik	28
3.6 Perhitungan Regresi Linier dan Korelasi Konduktifitas dengan Kuat Tarik	30
3.7 Perhitungan Korelasi Konduktifitas dengan Kuat Tarik	32
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Diagram Fasa Paduan Tembaga – Niobium (Cu – Nb)	34
4.2 Data dan Analisa Konduktifitas Listrik	37
4.3 Data dan Analisa Kuat Tarik	38
4.4 Analisa Regresi Linier Konduktifitas dengan Kuat Tarik	38
4.5 Analisa Korelasi Konduktifitas dengan Kuat Tarik	41
4.6 Penyelesaian Sistem Persamaan Linier Konduktifitas dengan Kuat Tarik	44

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	46
DAFTAR REFERENSI	47
LAMPIRAN	49



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tabel Sifat – Sifat Umum Tembaga	5
Tabel 2.2	Tabel Sifat Fisik Tembaga	5
Tabel 2.3	Tabel Ciri – Ciri Atom Tembaga	6
Tabel 2.4	Tabel <i>Miscellanea</i> Tembaga	6
Tabel 2.5	Tabel Isotop Tembaga	7
Tabel 2.6	Tabel Sifat – Sifat Umum Niobium	9
Tabel 2.7	Tabel Sifat Fisik Niobium	9
Tabel 2.8	Tabel Ciri – Ciri Atom Niobium	10
Tabel 2.9	Tabel <i>Miscellanea</i> Niobium	10
Tabel 2.10	Tabel Isotop Niobium	11
Tabel 4.1	Tabel Koordinat y_1 dan y_2	45



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gambaran Singkat Uji Tarik	15
Gambar 2.2	Kurva Tegangan – Regangan	17
Gambar 2.3	Dimensi Spesimen Uji Tarik (JIS Z2201)	17
Gambar 2.4	Ilustrasi Pengukur Regangan pada Specimen	17
Gambar 2.5	Koefisien Korelasi	19
Gambar 3.1	Algoritma <i>Software</i> Pengaruh Prosentase Berat (wt %) Terhadap Konduktifitas dan Kuat Tarik Paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb)	23
Gambar 3.2	Antar – muka Visual untuk Konduktifitas	25
Gambar 3.3	Antar – muka Visual untuk Kuat Tarik	28
Gambar 3.4	Antar – muka Visual untuk Regresi Linier Konduktifitas dengan Kuat Tarik	30
Gambar 3.5	Antar – muka Visual untuk Korelasi Konduktifitas dengan Kuat Tarik	32
Gambar 4.1	Diagram Fasa Paduan Tembaga – Niobium (Cu – Nb)	34
Gambar 4.2	Foto Makro Penampang Melintang Sampel Kawat Cu-Nb pada Perbesaran 35 x	35
Gambar 4.3	Mapping Cu Sampel Kawat Cu-Nb	35
Gambar 4.4	Mapping Nb Sampel Kawat Cu-Nb	36
Gambar 4.5	Struktur Mikro Paduan Tembaga – Niobium (Cu – Nb)	36
Gambar 4.6	Grafik Penambahan Niobium Terhadap Konduktifitas Listrik	37
Gambar 4.7	Grafik Penambahan Niobium Terhadap Kuat Tarik	39
Gambar 4.8	Grafik Sistem Persamaan Linier Konduktifitas dengan Kuat Tarik	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Penambahan Niobium Terhadap Konduktifitas	49
Lampiran 2 Penambahan Niobium Terhadap Kuat Tarik	53
Lampiran 3 Regresi Linier dan Korelasi Konduktifitas dengan Kuat Tarik	58
Lampiran 4 Kode Program Perhitungan Konduktifitas	62
Lampiran 5 Kode Program Perhitungan Kuat Tarik	62
Lampiran 6 Kode Program Regresi Linier Konduktifitas dengan Kuat Tarik	63
Lampiran 7 Kode Program Korelasi Konduktifitas dengan Kuat Tarik	64



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan penghantar (konduktor) adalah bahan yang menghantarkan listrik dengan mudah. Bahan ini mempunyai daya hantar listrik (*Electrical Conductivity*) yang besar dan tahanan listrik (*Electrical Resistance*) kecil. Bahan penghantar listrik berfungsi untuk mengalirkan arus listrik. Perhatikan fungsi kabel, kumparan / lilitan pada alat listrik yang dijumpai. Juga pada saluran transmisi / distribusi. Dalam teknik listrik, bahan penghantar yang sering dijumpai adalah Tembaga.

Konduktifitas logam penghantar sangat dipengaruhi oleh unsur – unsur pepadu, pengotor atau ketidaksempurnaan dalam kristal logam, yang ketiganya banyak berperan dalam proses pembuatan penghantar itu sendiri. Unsur – unsur pemandu selain mempengaruhi konduktifitas listrik, akan mempengaruhi sifat – sifat mekanika dan fisika lainnya. Logam murni memiliki konduktifitas listrik yang lebih baik dari pada yang lebih rendah kemurniannya. Akan tetapi kekuatan mekanis logam murni adalah rendah. Penghantar tenaga listrik, selain mensyaratkan konduktifitas yang tinggi juga membutuhkan sifat mekanis dan fisika tertentu yang disesuaikan dengan penggunaan penghantar itu sendiri ⁽¹⁾.

Dari jenis-jenis logam penghantar, Tembaga merupakan penghantar yang paling lama digunakan dalam bidang kelistrikan. Pada tahun 1913, oleh International Electrochemical Commission (IEC) ditetapkan suatu standar yang menunjukkan daya hantar kawat Tembaga yang kemudian dikenal sebagai International Annealed Copper Standard (IACS).

Niobium murni mempunyai titik leleh pada 2450⁰ C, serta mempunyai sifat sangat tahan korosi, konduktifitas yang tinggi dan keuletan yang baik ⁽²⁾.

Karena sifat listrik dan penghantar panas, Tembaga banyak dipakai untuk keperluan dalam bentuk kawat dan lembaran, dan lain – lain. Akan tetapi Tembaga murni mempunyai kekuatan yang relatif rendah ⁽³⁾.

Salah satu pendekatan untuk memperbaiki kekuatan Tembaga adalah memadukan dengan paduan berfasa ulet. Sudah diketahui bahwa paduan Tembaga yang mempunyai kekuatan relatif tinggi dapat diperoleh dengan cara memadukan Tembaga dengan suatu elemen seperti niobium, vanadium, atau logam *refractory* yang lain. Logam *refractory* akan larut sempurna di dalam matriks Tembaga. Dengan *heat treatment*, pada suhu yang relatif rendah, logam *refractory* dalam larut padat dapat terpisah dalam bentuk partikel – partikel dimana menyebar dalam matriks tembaga. Biasanya unsur pemuat logam *refractory* pada matriks tembaga komposisinya diatas 0,5 %. Perlakuan *hardening* dapat memperbaiki kekuatan dari paduan ini.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka ada 2 (dua) jenis karakteristik konduktor, yaitu :

a. Karakteristik mekanik

Karakteristik mekanik menunjukkan keadaan fisik dari konduktor yang menyatakan kekuatan tarik dari pada konduktor.

b. Karakteristik listrik

Karakteristik listrik menunjukkan kemampuan dari konduktor terhadap arus listrik yang melewatinya.

1.3 Tujuan

Tujuan skripsi ini adalah menganalisa pengaruh prosentase berat (wt %) terhadap konduktifitas dan kuat tarik paduan Tembaga – Niobium (Cu – Nb).

1.4 Batasan Masalah

Dalam analisa dan simulasi ini, hanya terbatas pada persyaratan-persyaratan bahan yang dipakai untuk konduktor yaitu :

a. Konduktifitasnya.

b. Kuat tariknya.

1.5 Metodologi

Analisis pengaruh prosentase berat (wt %) terhadap konduktifitas dan kuat tarik paduan Tembaga - Niobium (Cu-Nb) menggunakan metodologi sebagai berikut:

1. Studi literatur

Studi literatur mengacu pada jenis karakteristik konduktor, regresi dan korelasi.

2. Perancangan perangkat lunak (*software*)

Langkah – langkah perancangan *software* dengan *Visual Basic* adalah sebagai berikut :

- a. Menghitung konduktifitas paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb) terhadap % Niobium.
- b. Menghitung kuat tarik paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb) terhadap % Niobium.
- c. Menghitung regresi konduktifitas dan kuat tarik paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb).
- d. Menghitung korelasi konduktifitas dan kuat tarik paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb).

3. Data dan Analisa

Dari *software* tersebut, diambil datanya, kemudian dianalisa pengaruh prosentase berat (wt %) terhadap konduktifitas dan kuat tarik paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb).

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan skripsi ini, terdiri atas lima bab dan selanjutnya diperjelas dalam beberapa sub bab. Masing – masing bab, terdiri atas pendahuluan, tinjauan pustaka, pemrograman visual basic, data dan analisa serta kesimpulan dan saran.

Pendahuluan berisi tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metodologi dan sistematika penulisan.

Tinjauan pustaka berisi tentang sifat Tembaga (Cu), sifat Niobium (Nb), konduktifitas listrik material, kuat tarik material, regresi linier, dan korelasi.

Pemrograman visual basic berisi tentang pemrograman visual berbasis objek, algoritma *software* pengaruh prosentase berat (wt %) terhadap konduktifitas dan kuat tarik paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb), penggunaan form dan kontrol, perhitungan konduktifitas, perhitungan kuat tarik, perhitungan regresi linier konduktifitas dengan kuat tarik dan perhitungan korelasi konduktifitas dengan kuat tarik.

Data dan analisa berisi tentang diagram fasa dan struktur mikro paduan Tembaga – Niobium (Cu – Nb), data dan analisa konduktifitas, data dan analisa kuat tarik, analisa regresi linier konduktifitas dengan kuat tarik, analisa korelasi konduktifitas dengan kekuatan tarik, dan penyelesaian sistem persamaan linier konduktifitas dengan kuat tarik.

Kesimpulan dan saran berisi tentang kesimpulan dan saran dari analisis pengaruh prosentase berat (wt %) terhadap konduktifitas dan kuat tarik paduan Tembaga – Niobium (Cu – Nb).

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sifat Tembaga (Cu)

Produksi Tembaga sebagian besar dipergunakan dalam industri kelistrikan, karena Tembaga mempunyai daya hantar listrik yang tinggi. Pengotor yang terdapat dalam Tembaga akan memperkecil / mengurangi daya hantar listriknya⁽⁴⁾.

Berikut ini adalah tabel – tabel mengenai sifat – sifat umum Tembaga, sifat fisik Tembaga, ciri – ciri atom Tembaga, *Miscellanea* Tembaga dan Isotop Tembaga.

Tabel 2.1 Tabel Sifat – Sifat Umum Tembaga⁽⁴⁾

General properties	
Name, symbol, number	copper, Cu, 29
Element category	transition metal
Group, period, block	11, 4, d
Standard atomic weight	63.546(3)g·mol ⁻¹
Electron configuration	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹
Electrons per shell	2, 8, 18, 1 (Image)

Tabel 2.2 Tabel Sifat Fisik Tembaga⁽⁴⁾

Physical properties						
Phase	solid					
Density (near r.t.)	8.94 g·cm ⁻³					
Liquid density at m.p.	8.02 g·cm ⁻³					
Melting point	1357.77 K, 1084.62 °C, 1984.32 °F					
Boiling point	2835 K, 2562 °C, 4643 °F					
Heat of fusion	13.26 kJ·mol ⁻¹					
Heat of vaporization	300.4 kJ·mol ⁻¹					
Specific heat capacity	(25 °C) 24.440 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹					
Vapor pressure						
pPa	1	10	100	1 k	10 k	100 k
at T/K	1509	1661	1850	2089	2404	2834

Tabel 2.3 Tabel Ciri – Ciri Atom Tembaga ⁽⁴⁾

Atomic properties	
Oxidation states	+1, +2, +3, +4 (mildly basic oxide)
Electronegativity	1.90 (Pauling scale)
Ionization energies (more)	1st: 745.5 kJ·mol ⁻¹ 2nd: 1957.9 kJ·mol ⁻¹ 3rd: 3555 kJ·mol ⁻¹
Atomic radius	128 pm
Covalent radius	132±4 pm
Van der Waals radius	140 pm

Tabel 2.4 Tabel *Miscellanea* Tembaga ⁽⁴⁾

Miscellanea	
Crystal structure	face-centered cubic
Magnetic ordering	diamagnetic
Electrical resistivity	(20 °C) 16.78 nΩ·m
Thermal conductivity	(300 K) 401 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Thermal expansion	(25 °C) 16.5 μm·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Speed of sound (thin rod)	(r.t.) (annealed) 3810 m·s ⁻¹
Young's modulus	110–128 GPa
Shear modulus	48 GPa
Bulk modulus	140 GPa
Poisson ratio	0.34
Mohs hardness	3.0
Vickers hardness	369 MPa
Brinell hardness	874 MPa
CAS registry number	7440-50-8

Tabel 2.5 Tabel Isotop Tembaga ⁽⁴⁾

Most stable isotopes					
Main article: Isotopes of copper					
iso	HA	half-life	DM	DE (MeV)	DP
⁶³ Cu	69.15%	⁶³ Cu is stable with 34 neutrons			
⁶⁵ Cu	30.85%	⁶⁵ Cu is stable with 36 neutrons			

Selain mempunyai daya hantar listrik yang tinggi, daya hantar panasnya juga tinggi, dan tahan karat. Oleh karena itu tembaga juga dipakai untuk kelengkapan bahan radiator, ketel, dan alat kelengkapan pemanasan. Tembaga mempunyai sifat dapat dirol, ditarik, ditekan, ditekan tarik dan dapat ditempa (*malleable*) ^(5,6,7).

Tembaga mudah dibentuk, baik dalam bentuk *malleable* dan getas. Karena sifat ini maka dapat dibentuk menjadi kawat yang digunakan untuk keperluan kelistrikan. Hal ini disebabkan karena tembaga mempunyai sifat penghantar listrik yang sangat baik. Tembaga mudah di mesin, begitupun kadang – kadang diperlukan suatu paduan untuk komponen – komponen tertentu yang diperlukan karakteristik *machinability* yang lebih bagus lagi. Disamping itu, tembaga mempunyai sifat konduktifitas yang baik, sehingga dapat digunakan untuk *heatsinks* dan *heat exchangers*. Tembaga juga tahan korosi tapi tidak sebaik emas. Tembaga mudah di *brazing*, menjadi solder dan juga mudah di las. Hasil yang paling bagus untuk melakukan pengelasan tembaga menggunakan gas metal *arc welding* ⁽⁴⁾.

Tembaga biasanya tersedia di pasaran dalam bentuk *fine grained polycrystalline*. Logam *polycrystalline* mempunyai kekutan yang lebih baik dari pada *monocrystalline*, dan semakin kecil ukuran butirnya, kekuatannya semakin baik.

Tembaga merupakan material teknik yang penting karena penggunaannya luas dalam bentuk murni maupun dipadukan dengan logam lain. Dalam keadaan murni, penggunaan Tembaga yang paling penting adalah dalam bidang industri kelistrikan karena mempunyai konduktifitas listrik yang

tinggi, tahan korosi, dan mudah difabrikasi. Tembaga mempunyai kekuatan tarik yang kurang baik, tapi mudah di anil dan di solder.

Pada $59,6 \times 10^6$ S/m, Tembaga mempunyai sifat konduktivitas listrik kedua terbaik dari material setelah Perak. Nilai tinggi ini karena semua elektron valensi ada di daerah konduksi. Elektron – elektron bebas dalam Tembaga menyebabkan *charge density* menjadi $13,6 \times 10^9$ C/m³. *Charge density* yang besar ini menimbulkan aliran arus di dalam tembaga menjadi lambat.

Logam Tembaga digunakan secara luas dalam industri peralatan listrik. Kawat Tembaga dan paduan Tembaga digunakan dalam pembuatan motor listrik, generator, kabel transmisi, instalasi listrik rumah dan industri, kendaraan bermotor, konduktor listrik, kabel dan tabung *coaxial*, tabung *microwave*, sakelar, reaktifier transistor, bidang telekomunikasi, dan bidang - bidang yang membutuhkan sifat konduktivitas listrik dan panas yang tinggi, seperti untuk pembuatan tabung - tabung dan klep di pabrik penyulingan. Kegunaan lain dari tembaga ialah sebagai bahan untuk baut penyolder, untuk kawat-kawat jalan traksi listrik (kereta listrik, trem, dan sebagainya), unsur hantaran listrik di atas tanah, hantaran penangkal petir, untuk lapis tipis dari kolektor, dan lain-lain.

2.2 Sifat Niobium (Nb)

Ditemukan pada tahun 1801 oleh Hatchett dari bijih yang dikirim ke Inggris. Logam ini dimurnikan pertama kali pada tahun 1864 oleh Bloomstrand, yang mereduksi garam Niobium klorida dengan proses pemanasan dengan menggunakan hidrogen dari atmosfer. Nama Niobium diambil oleh IUPAC pada tahun 1950 setelah diperdebatkan selama 100 tahun. Banyak komunitas asosiasi ahli kimia terkemuka maupun milik pemerintah yang mengacu pada logam ini dengan nama niobium, kecuali satu perusahaan komersial terkemuka di Amerika Serikat yang menyebutnya sebagai Kolumbium⁽⁸⁾.

Berikut ini adalah tabel – tabel mengenai sifat – sifat umum Niobium, sifat fisik Niobium, ciri – ciri atom Niobium, *Miscellanea* Niobium dan Isotop Niobium.

Tabel 2.6 Tabel Sifat – Sifat Umum Niobium ⁽⁸⁾

General properties	
Name, symbol, number	niobium, Nb, 41
Element category	transition metal
Group, period, block	5, 5, d
Standard atomic weight	92.90638g·mol ⁻¹
Electron configuration	[Kr] 4d ⁴ 5s ¹
Electrons per shell	2, 8, 18, 12, 1 (Image)

Tabel 2.7 Tabel Sifat Fisik Niobium ⁽⁸⁾

Physical properties						
Phase	solid					
Density (near r.t.)	8.57 g·cm ⁻³					
Melting point	2750 K, 2477 °C, 4491 °F					
Boiling point	5017 K, 4744 °C, 8571 °F					
Heat of fusion	30 kJ·mol ⁻¹					
Heat of vaporization	689.9 kJ·mol ⁻¹					
Specific heat capacity	(25 °C) 24.60 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹					
Vapor pressure						
Pa	1	10	100	1 k	10 k	100 k
at 77K	2942	3207	3524	3910	4393	5013

Tabel 2.8 Tabel Ciri – Ciri Atom Niobium ⁽⁸⁾

Atomic properties	
Oxidation states	5, 4, 3, 2, -1 (mildly acidic oxide)
Electronegativity	1.6 (Pauling scale)
Ionization energies	1st: 652.1 kJ·mol ⁻¹ 2nd: 1380 kJ·mol ⁻¹ 3rd: 2416 kJ·mol ⁻¹
Atomic radius	146 pm
Covalent radius	164±6 pm

Tabel 2.9 Tabel *Miscellanea* Niobium ⁽⁸⁾

Miscellanea	
Crystal structure	cubic body-centered
Magnetic ordering	paramagnetic
Electrical resistivity	(0 °C) 152 nΩ·m
Thermal conductivity	(300 K) 53.7 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Thermal expansion	7.3 μm/(m·K)
Speed of sound (thin rod)	(20 °C) 3480 m/s
Young's modulus	105 GPa
Shear modulus	38 GPa
Bulk modulus	170 GPa
Poisson ratio	0.40
Mohs hardness	6.0
Vickers hardness	1320 MPa
Brinell hardness	736 MPa
CAS registry number	7440-03-1

Tabel 2.10 Tabel Isotop Niobium⁽⁸⁾

Most stable isotopes					
Main article: Isotopes of niobium					
iso	HA	half-life	DM	DE (MeV)	DP
⁹¹ Nb	syn	6.8×10 ² y	ε	-	⁹¹ Zr
^{91m} Nb	syn	60.86 d	IT	0.104e	⁹¹ Nb
⁹² Nb	syn	10.15 d	ε	-	⁹² Zr
			γ	0.934	-
⁹² Nb	syn	3.47×10 ⁷ y	ε	-	⁹² Zr
			γ	0.561, 0.934	-
⁹³ Nb	100%	⁹³ Nb is stable with 52 neutrons			
^{93m} Nb	syn	16.13 y	IT	0.031e	⁹³ Nb
⁹⁴ Nb	syn	2.03×10 ⁴ y	β ⁻	0.471	⁹⁴ Mo
			γ	0.702, 0.871	-
⁹⁵ Nb	syn	34.991 d	β ⁻	0.159	⁹⁵ Mo
			γ	0.765	-
^{95m} Nb	syn	3.61 d	IT	0.235	⁹⁵ Nb

Unsur ini ditemukan dalam mineral Niobit (atau Kolumbit), Niobit-Tantalit, Paroklor dan Euksenit. Niobium dengan kadar tinggi ditemukan bergabung bersama Karbonatit (batuan karbon-silikat), sebagai salah satu komponen penyusun Paroklor. Biji kaya Niobium ditemukan di daerah Kanada, Brazil, Nigeria, Zaire, dan di Rusia^(5,6,7).

Niobium berwarna putih berkilau, lunak dan bisa ditempa. Bila terpapar dengan udara pada suhu kamar dengan waktu yang cukup lama, warnanya berubah menjadi kebiru-biruan. Logam ini teroksidasi di udara pada suhu 200°C. Dengan demikian, niobium harus terlindung dari udara atmosfer, bila hendak diproses, meski pada suhu biasa saja.

Niobium digunakan dalam pengelasan menstabilkan baja tahan karat. Ribuan pon Niobium telah digunakan dalam sistem aliran udara terbaru, sebagaimana yang digunakan pada program antariksa Gemini. Niobium bersifat superkonduktif, bahkan magnet superkonduktif telah dibuat dengan

kawat Nb-Zr, yang menahan superkonduktivitasnya dalam medan magnet kuat. Penerapan superkonduktif ini memberikan harapan generasi sumber listrik yang baru dalam skala besar. Niobium juga umum digunakan perhiasan wanita. Telah dikenali 18 isotop Niobium. Niobium bisa diisolasi dari Tantalum dan diperoleh dengan berbagai cara.

Niobium dan paduannya mempunyai titik lebur yang tinggi, sehingga dalam penggunaannya untuk produk - produk *engineering* suhu tinggi (biasa digunakan pada suhu mencapai 1200°C). Niobium juga sering digunakan sebagai unsur pepadu baja dimana akan memberikan kenaikan kekuatannya yang cukup berarti. Niobium sering juga digunakan untuk *reactor atomic* karena sifat ketahanan korosinya yang sangat baik dan, ketika dipadukan dengan Timah (Sn) atau Zirkon akan menghasilkan sifat superkonduktivitasnya. Niobium mempunyai kekerasan yang baik dan dapat di las dalam udara yang bersih, inert atau vakum, juga mudah difabrikasi.

Niobium sudah lama digunakan sebagai unsur pepadu, Nb1%Zr sudah lama dan masih digunakan dalam reactor nuklir sebagai *tubing* untuk *pellets* karena mempunyai ketahanan terhadap *neutron bombardment*. Sebagai paduan C-103, digunakan untuk nozel roket dan *exhaust* untuk mesin jet dan roket sebab mempunyai kekuatan yang tinggi dan tahan oksidasi pada suhu tinggi dan ringan. Belakangan ini mulai digunakan dalam bentuk murni untuk komponen semikonduktor dan tahan korosi.

Niobium dapat ditekek, ditarik, diputar, dan dibentuk pada suhu diatas *work hardening*. Akan tetapi Niobium agak sulit di mesin, tapi bisa dilakukan dengan menggunakan peralatan *high speed* dan *lubricant* secukupnya.

Niobium mempunyai kombinasi kekuatan, *melting point*, tahan terhadap bahan kimia dan sedikit mengabsorpsi neutron sehingga sering digunakan pada industri nuklir. Niobium adalah material yang pertama kali digunakan untuk reaktor dalam sistem program *space power*. Niobium mempunyai sifat stabil dan pasif terhadap oksida, untuk itu merupakan solusi yang baik untuk masalah – masalah korosi.

2.3 Konduktifitas Listrik Material

Nilai konduktifitas listrik pada sebuah logam bergantung pada beberapa faktor, seperti komposisi kimianya dan kondisi *stress* struktur kristalnya. Oleh karena itu, informasi konduktifitas listrik dapat digunakan untuk *sorting* logam, pengecekan *heat treatment* yang tepat, dan inspeksi terhadap kerusakan akibat panas (*heat damage*). Konduktifitas berubah oleh suhu sehingga pengukuran sebaiknya dilakukan pada suhu yang konstan dan pengaturan dibuat untuk variasi-variasi suhu bila diperlukan. Ada beberapa peralatan yang dapat dikalibrasi untuk menghasilkan nilai konduktifitas listrik yang dapat dibandingkan dengan nilai yang telah dipublikasikan dalam MS/m atau persen IACS (International Annealed Copper Standard). Harus diperhatikan bahwa konduktifitas suatu material tertentu dapat bervariasi akibat variasi pada komposisi kimianya, sehingga range konduktifitas dibuat untuk beberapa material. Range konduktifitas dari satu material mungkin *overlap* dengan *range* dari material kedua sehingga konduktifitas tidak selalu dapat berdiri sendiri bila digunakan untuk mensortir material ⁽⁹⁾.

Konduktifitas listrik adalah ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor, muatan-muatan Bergeraknya akan berpindah, menghasilkan arus listrik. Konduktifitas listrik σ didefinisikan sebagai ratio dari rapat arus \mathbf{J} terhadap kuat medan listrik \mathbf{E} ⁽¹⁰⁾.

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \dots\dots\dots (2.1)$$

Resistivitas listrik (juga dikenal sebagai hambatan listrik spesifik atau volume resistivitas) adalah ukuran seberapa kuat menentang material aliran arus listrik. Resistivitas rendah menunjukkan bahan yang mudah memungkinkan pergerakan muatan listrik. SI tahanan listrik adalah ohm meter (Ω m). Resistivitas listrik ρ (bahasa Yunani: *rho*) didefinisikan oleh ⁽¹¹⁾,

$$\rho = \frac{E}{J} \dots\dots\dots (2.2)$$

di mana

ρ = resistivitas statis (diukur dalam volt-meter per ampere, V m / A);

E = besarnya medan listrik (diukur dalam volt per meter, V / m);

J = besarnya kerapatan arus (diukur dalam ampere per meter persegi, A / m²).

Resistivitas listrik juga dapat diberikan oleh,

$$\rho = R \frac{A}{\ell} \dots\dots\dots (2.3)$$

di mana

ρ = resistivitas statis (diukur dalam ohm-meter, Ω m);

R = hambatan listrik bahan (diukur dalam ohm, Ω);

ℓ = panjang potongan bahan (diukur dalam meter, m);

A = luas penampang spesimen (diukur dalam meter persegi, m²).

Akhirnya, resistivitas listrik juga didefinisikan sebagai kebalikan dari konduktifitas σ (*sigma*), material, atau

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \dots\dots\dots (2.4)$$

2.4 Kuat Tarik Material

Untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan, tentu kita harus mengadakan pengujian terhadap bahan tersebut. Ada empat jenis uji coba yang biasa dilakukan, yaitu uji tarik (*tensile test*), uji tekan (*compression test*), uji torsi (*torsion test*), dan uji geser (*shear test*)^(7,12,13).

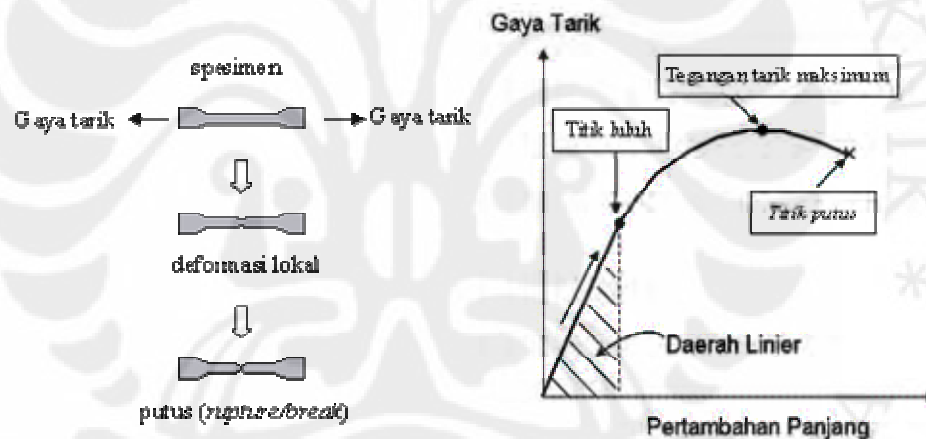
Uji tarik adalah cara pengujian bahan yang paling mendasar. Pengujian ini sangat sederhana, tidak mahal dan sudah mengalami standarisasi di seluruh dunia, misalnya di Amerika dengan ASTM E8 dan Jepang dengan JIS 2241. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus

Universitas Indonesia

memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*). Brand terkenal untuk alat uji tarik antara lain adalah antara lain adalah Shimadzu, Instron dan Darte.

Secara umum, uji tarik dilakukan dengan membuat benda uji (dengan dimensi sesuai standar pengujian), memasang pada sebuah alat-penarik-sekaligus-pencatat, kemudian menariknya sampai putus. Pencatatan dilakukan mulai dari awal penarikan sampai ketika benda uji tersebut putus.

Banyak hal yang dapat kita pelajari dari hasil uji tarik. Bila kita terus menarik suatu bahan (dalam hal ini suatu logam) sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva seperti digambarkan pada gambar 2.1. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Profil ini sangat diperlukan dalam desain yang memakai bahan tersebut.



Gambar 2.1. Gambaran Singkat Uji Tarik ^(7,12,13)

Biasanya yang menjadi fokus perhatian adalah kemampuan maksimum bahan tersebut dalam menahan beban. Kemampuan ini umumnya disebut “*Ultimate Tensile Strength*” disingkat dengan UTS, dalam bahasa Indonesia disebut tegangan tarik maksimum.

Untuk hampir semua logam, pada tahap sangat awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau *linear zone*.

Di daerah ini, kurva penambahan panjang vs beban mengikuti aturan Hooke sebagai berikut:

rasio tegangan (stress) dan regangan (strain) adalah konstan

Stress adalah **beban dibagi luas penampang bahan** dan **strain** adalah **pertambahan panjang dibagi panjang awal bahan**

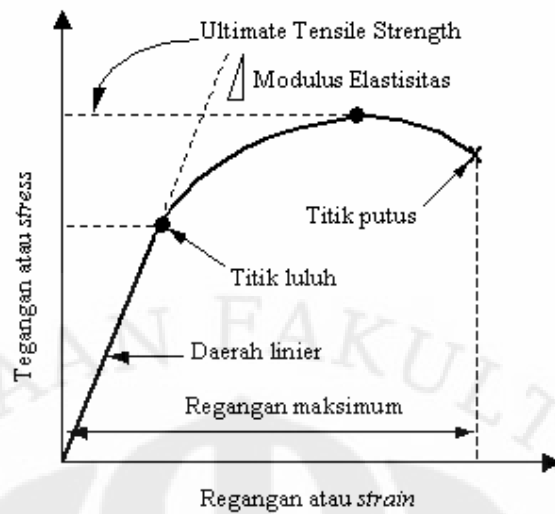
Stress: $\sigma = F/A$ F: gaya tarikan, A: luas penampang

Strain: $\varepsilon = \Delta L/L$ ΔL : pertambahan panjang, L: panjang awal

Hubungan antara stress dan strain dirumuskan:

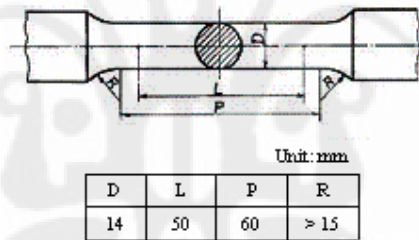
$$E = \sigma / \varepsilon \dots\dots\dots (2.5)$$

Untuk memudahkan pembahasan, gambar 2.1 kita modifikasi sedikit dari hubungan antara gaya tarikan dan pertambahan panjang menjadi hubungan antara tegangan dan regangan (*stress vs strain*). Selanjutnya kita dapatkan gambar 2.2, yang merupakan kurva standar ketika melakukan eksperimen uji tarik. *E* adalah gradien kurva dalam daerah linier, di mana perbandingan tegangan (σ) dan regangan (ε) selalu tetap. *E* diberi nama “*Modulus Elastisitas*” atau “*Young Modulus*”. Kurva yang menyatakan hubungan antara *strain* dan *stress* seperti ini kerap disingkat kurva SS (*SS curve*)

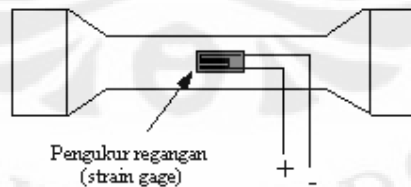


Gambar 2.2. Kurva Tegangan-Regangan ^(7,12,13)

Bentuk bahan yang diuji, untuk logam biasanya dibuat *spesimen* dengan dimensi seperti pada gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Dimensi Spesimen Uji Tarik (JIS Z2201) ^(7,12,13)



Gambar 2.4 Ilustrasi Pengukur Regangan Pada Spesimen ^(7,12,13)

Perubahan panjang dari spesimen dideteksi lewat pengukur regangan (*strain gage*) yang ditempelkan pada spesimen seperti diilustrasikan pada gambar 2.4. Bila pengukur regangan ini mengalami perubahan panjang dan

penampang, terjadi perubahan nilai hambatan listrik yang dibaca oleh detektor dan kemudian dikonversi menjadi perubahan regangan

Sifat mekanik suatu material dapat diketahui dengan uji tarik, pengujian ini paling banyak digunakan untuk suatu material pada suhu kamar. Sifat kuat tarik ini sangat berguna dalam memilih suatu material. Kuat tarik σ didefinisikan sebagai gaya yang diberikan kepada material tersebut tegak lurus terhadap penampang melintang material.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots (2.6)$$

F = Gaya

A₀ = Penampang mula – mula

2.5 Regresi Linier

Regresi dalam statistika adalah salah satu metode untuk menentukan hubungan sebab-akibat antara satu variabel dan variabel-variabel yang lain. Variabel "penyebab" disebut dengan bermacam-macam istilah: *variabel penjelas*, *variabel eksplanatorik*, *variabel independen*, atau secara bebas, *variabel X* (karena seringkali digambarkan dalam grafik sebagai absis, atau sumbu X). Variabel terkena akibat dikenal sebagai *variabel yang dipengaruhi*, *variabel dependen*, *variabel terikat*, atau *variabel Y*. Kedua variabel ini dapat merupakan variabel acak (random), namun variabel yang dipengaruhi harus selalu variabel acak ^(14,15).

Analisis regresi adalah salah satu analisis yang paling populer dan luas pemakaiannya. Hampir semua bidang ilmu yang memerlukan analisis sebab-akibat boleh dipastikan mengenal analisis ini.

Istilah regresi diperkenalkan oleh Sir Francis Galton, yang menemukan bahwa meskipun ada kecenderungan bagi orang tua yang tinggi mempunyai anak yang tinggi dan orang tua yang pendek mempunyai anak yang pendek, distribusi tinggi populasi tidak berubah secara mencolok dari generasi ke generasi. Penjelasanannya adalah bahwa kecenderungan bagi rata-rata tinggi

anak dengan orang tua yang mempunyai tinggi tertentu untuk bergerak atau mundur (regress) ke arah tinggi rata-rata seluruh populasi. Hukum regresi semesta (*law of universal regression*), yang bersifat biologis ini diperkuat oleh Karl Pearson. Ia menemukan bahwa rata-rata tinggi anak laki-laki kelompok ayah yang tinggi kurang daripada tinggi ayah mereka dan rata-rata tinggi anak laki-laki kelompok ayah yang pendek lebih tinggi dari pada tinggi ayah mereka.

Sesuai dengan perkembangan metodologi dan penerapannya, definisi regresi pada saat ini telah berbeda jauh dari pengertian awal tersebut. Umpamanya, dengan regresi pendugaan-pendugaan terhadap sesuatu performa dapat dilakukan, selama variabel-variabel penentu dapat ditentukan sebelumnya.

Regresi berkaitan dengan ketergantungan stokastik, yang berarti memiliki peluang untuk meleset dari prediksi. Setiap pengambilan dugaan yang menggunakan regresi harus didasari dengan kesadaran bahwa hasil perkiraan tidak akan 100% sama dengan kenyataan (ketergantungan deterministik).

2.6 Korelasi

Dalam teori probabilitas dan statistika, korelasi, juga disebut koefisien korelasi, adalah nilai yang menunjukkan kekuatan dan arah hubungan linier antara dua peubah acak (*random variable*)^(15,16).

Koefisien korelasi										
Korelasi tinggi	Tinggi	Rendah	Rendah	Tanpa korelasi	Tak ada korelasi (acak)	Tanpa korelasi	Rendah	Rendah	Tinggi	Korelasi tinggi
-1	< -0.9	> -0.9	< -0.4	> -0.4	0	< +0.4	> +0.4	< +0.9	> +0.9	+1

Gambar 2.5. Koefisien Korelasi^(15,16)

Salah satu jenis korelasi yang paling populer adalah koefisien korelasi momen-produk Pearson, yang diperoleh dengan membagi kovarians kedua variabel dengan perkalian simpangan bakunya. Meski memiliki nama *Pearson*, metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Francis Galton.

Korelasi $\rho_{X, Y}$ antara dua peubah acak X dan Y dengan nilai yang diharapkan μ_X dan μ_Y dan simpangan baku σ_X dan σ_Y didefinisikan sebagai:

Universitas Indonesia

$$\rho_{X,Y} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E((X - \mu_X)(Y - \mu_Y))}{\sigma_X \sigma_Y} \dots\dots\dots (2.7)$$

Karena $\mu_X = E(X)$, $\sigma_X^2 = E(X^2) - E^2(X)$ dan demikian pula untuk Y , maka dapat pula ditulis

$$\rho_{X,Y} = \frac{E(XY) - E(X)E(Y)}{\sqrt{E(X^2) - E^2(X)} \sqrt{E(Y^2) - E^2(Y)}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Korelasi dapat dihitung bila simpangan baku finit dan keduanya tidak sama dengan nol. Dalam pembuktian ketidaksamaan Cauchy-Schwarz, koefisien korelasi tak akan melebihi dari 1 dalam nilai absolut. Korelasi bernilai 1 jika terdapat hubungan linier yang positif, bernilai -1 jika terdapat hubungan linier yang negatif, dan antara -1 dan +1 yang menunjukkan tingkat dependensi linier antara dua variabel. Semakin dekat dengan -1 atau +1, semakin kuat korelasi antara kedua variabel tersebut.

Jika variabel-variabel tersebut saling bebas, nilai korelasi sama dengan 0. Namun tidak demikian untuk kebalikannya, karena koefisien korelasi hanya mendeteksi *ketergantungan linier* antara kedua variabel. Misalnya, peubah acak X berdistribusi uniform pada interval antara -1 dan +1, dan $Y = X^2$. Dengan demikian nilai Y ditentukan sepenuhnya oleh X , sehingga

Koefisien korelasi Pearson merupakan statistik parametrik, dan ia kurang begitu menggambarkan korelasi bila asumsi dasar normalitas suatu data dilanggar. Metode korelasi non-parametrik seperti ρ Spearman and τ Kendall berguna ketika distribusi tidak normal. Koefisien korelasi non-parametrik masih kurang *kuat* bila dibandingkan dengan metode parametrik jika asumsi normalitas data terpenuhi, namun cenderung memberikan hasil distorsi ketika asumsi tersebut tak terpenuhi.

BAB 3

PEMROGRAMAN VISUAL BASIC

3.1 Pemrograman Visual Berbasis Objek

Pemrograman tradisional (DOS) selalu dengan menuliskan kode program, sedangkan cara baru dapat melakukan *drag – drop* objek untuk membuat interface (antar muka) dan baru dilanjutkan dengan penulisan kode program untuk mengendalikan objek dan memberi perintah – perintah tertentu (17,18,19,20).

Drag – drop merujuk proses pengoperasian secara visual yang diterapkan pada sistem operasi berbasis grafis. Program yang dihasilkan mempunyai tampilan mirip dengan aplikasi Windows yang lain, karena menggunakan objek yang sama. Seluruhnya cepat, hanya memerlukan pemrograman yang lebih sedikit sehingga disebut *Rapid Application Development (RAD)*.

Microsoft Visual Basic menyediakan prasarana yang dapat dipergunakan secara cepat dan mudah untuk menciptakan aplikasi komputer dengan antar muka berbasis visual di lingkungan Windows, dan telah menyediakan objek – objek bantu pemrograman yang lengkap dan teruji untuk mendukung konsep RAD (*Rapid Application Development*).

Bagian kata VISUAL menunjukkan bagaimana program tersebut membuat aplikasi antar muka yang berbasis grafis dan bukannya dengan menuliskan baris – baris kode seperti cara pemrograman lama. Kita dapat dengan mudah menambahkan objek – objek yang telah siap ke tempat tertentu di layar.

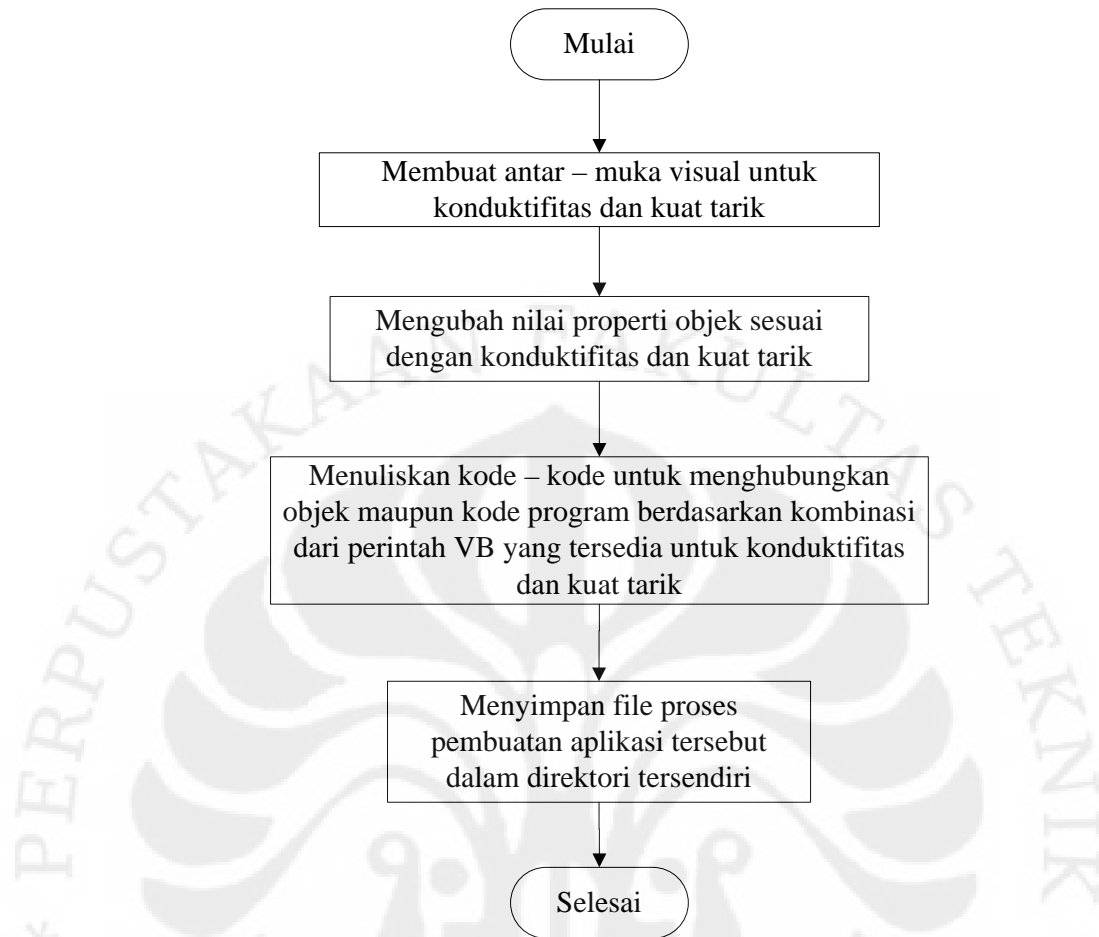
Bagian kata BASIC mengacu pada istilah bahasa pemrograman BASIC (Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code), bahasa pemrograman gratis di lingkungan DOS yang terbukti dengan kesederhanaan dan kemudahannya sejak lama. Visual Basic dikembangkan untuk menyamai kemudahan bahasa BASIC yang lama, tetapi telah diperlengkapi dengan ratusan perintah, fungsi dan fasilitas baru, dan banyak di antaranya dapat

berhubungan langsung dengan Windows GUI (*Graphical User Interface*), antar muka Windows yang berbasis visual (grafis).

3.2 Algoritma *Software* Pengaruh Prosentase Berat (wt %) Terhadap Konduktifitas dan Kuat Tarik Paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb)

Gambar 3.1 adalah Algoritma pembuatannya dan memerlukan empat tahapan utama, yaitu :

- a. Membuat antar – muka visual untuk konduktifitas dan kuat tarik dengan objek – objek siap pakai buatan Microsoft atau pihak ketiga. Selain mempermudah pemrograman juga menjamin bahwa aplikasi yang dibuat *compatible* dengan Windows.
- b. Mengubah nilai properti objek sesuai dengan konduktifitas dan kuat tarik.
- c. Menuliskan kode – kode untuk menghubungkan objek maupun kode program berdasarkan kombinasi dari perintah VB yang tersedia untuk konduktifitas dan kekuatan tarik.
- d. Menyimpan file proses pembuatan aplikasi tersebut dalam direktori tersendiri, ini penting karena VB menggunakan banyak file dengan nama yang berbeda. File – file yang diorganisir dari jendela Project Explorer disebut sebagai Project.



Gambar 3.1. Algoritma *Software* Pengaruh Prosentase Berat (wt %) Terhadap Konduktifitas dan Kuat Tarik Paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb)

3.3 Penggunaan Form dan Kontrol

Form adalah tempat membuat tampilan (*user interface*) dari program aplikasi. Dengan form, pemakai program dapat berkomunikasi atau berinteraksi dengan program^(17,21,22).

MDI form adalah form induk atau form utama yang biasa dipakai pada aplikasi MDI atau Multiple Document Interface. Aplikasi MDI adalah aplikasi menggunakan beberapa form sekaligus. Pada form induk dapat dijalankan beberapa form anak sekaligus. Pada MDI form biasanya terdapat menu untuk memanggil form – form anak.

Pada waktu membuat program aplikasi, memerlukan objek kontrol yang digunakan untuk tampilan form. Dengan adanya objek kontrol, pemakai

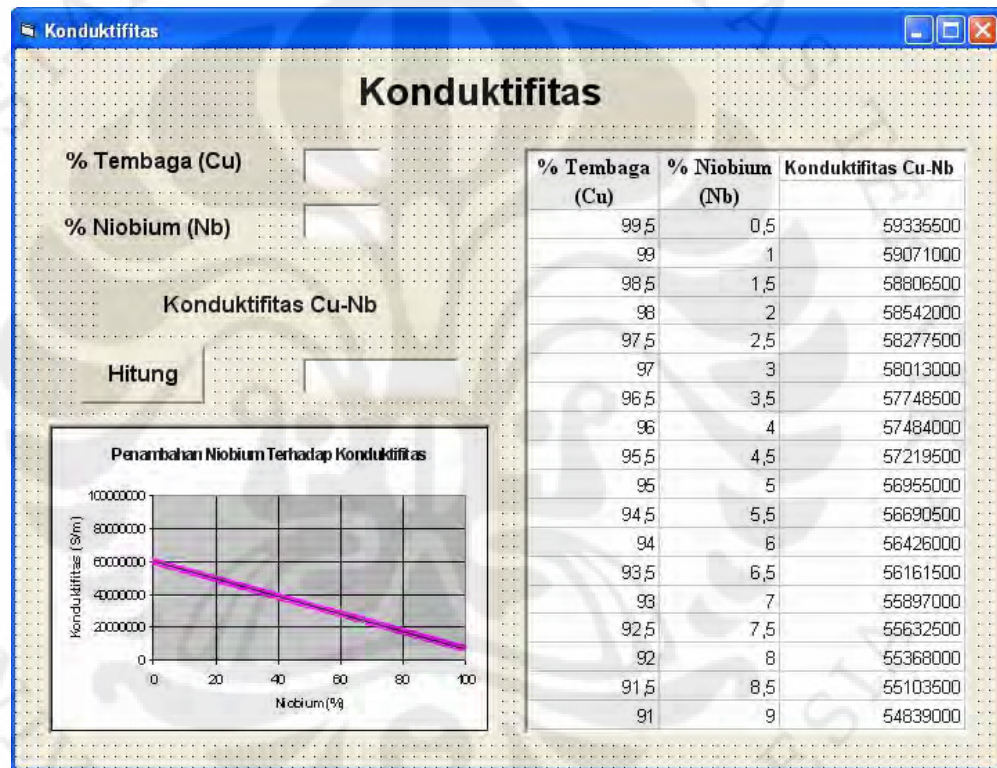
program aplikasi akan lebih mudah untuk menggunakan program aplikasi tersebut. Objek kontrol yang digunakan pada form dibuat dari kontrol – kontrol yang terdapat pada toolbox. Spesifikasi teknis kontrol edisi standar pada Visual Basic yang digunakan adalah sebagai berikut : Label digunakan untuk menampilkan teks pada form, tidak bisa diedit oleh pemakai, tetapi dapat diubah melalui kode pemrograman. CommandButton fungsinya seperti tombol, jika diklik maka prosedur event akan dijalankan. TextBox akan menampilkan teks informasi di properti Text dan dapat diedit langsung di jendela TextBox tersebut. Frame untuk mengelompokkan beberapa objek menjadi satu kesatuan tugas atau hanya sebagai hiasan saja. Pada kontrol Frame yang telah diisi objek – objek, jika kontrol ini dihapus maka objek – objek di dalamnya juga ikut terhapus. Kontrol ini banyak dipakai untuk kontrol CheckBox atau OptionBox. Untuk membuat kontrol grup, pertama gambarkan kontrol Frame, kemudian gambarkan kontrol – kontrol lain di dalam Frame tersebut. Hal tersebut menyebabkan jika Frame dipindahkan, kontrol yang ada di dalamnya juga ikut berpindah. Untuk memilih multiple kontrol di dalam Frame, tekan tombol Ctrl dan pada saat bersamaan, gunakan mouse untuk memilih area sedemikian yang dapat menyebabkan kontrol – kontrol yang dipilih dapat masuk ke dalamnya. Option Button menampilkan pilihan yang aktif (dipilih) atau tidak. Jika lebih dari satu, maka hanya satu yang aktif. OLE Container dapat digunakan untuk menampung objek yang akan digabung ke form. OLE dalam perkembangan fasilitas yang ditawarkan bukan hanya untuk menggabungkan (*link*) dan melekatkan (*embed*) obyek saja. Jadi dengan OLE, dapat menghubungkan obyek dari suatu aplikasi ke aplikasi lain. Kontrol OLE akan membuat sebuah kotak sebagai tempat menampilkan objek – objek berisi data dari aplikasi lain yang kita pilih. Dengan kontrol OLE tersebut bisa membuat :

- Sebuah tempat untuk menampilkan objek pada aplikasi yang dibuat.
- Sebuah objek yang terhubung dengan aplikasi lain.
- Sebuah tindakan yang terjadi bila objek yang ada di kontrol OLE dipindahkan, diubah ukurannya, atau diperbaharui.
- Sebuah objek berdasarkan data yang ada di Clipboard.
- Menampilkan objek sebagai icon, dan sebagainya.

Sebuah kontrol OLE hanya dapat menampung sebuah objek. Untuk membuat agar sebuah objek terhubung dengan aplikasi lain di kontrol OLE, caranya bergantung apakah ketika membuat objek tersebut berada pada modus desain atau modus run – time.

3.4 Perhitungan Konduktifitas

Pembuatan aplikasi untuk perhitungan konduktifitas dengan menggunakan Visual Basic dapat terlihat pada gambar 3.2 yang menunjukkan antar muka visual untuk konduktifitas.



Gambar 3.2 Antar – muka Visual Untuk Konduktifitas

Konduktifitas Tembaga : $59,6 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}$ (12,13,23,24)

Konduktifitas Niobium : $6,7 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}$ (12,13,23,24)

Dengan *heat treatment*, pada suhu yang relatif rendah, logam *refractory* dalam larut padat sempurna dapat terpisah dalam bentuk partikel – partikel dimana menyebar dalam matriks tembaga sehingga perhitungannya menjadi ((% Cu x σ Cu murni) + (% Nb x σ Nb murni)). Biasanya unsur

Universitas Indonesia

pemadu logam *refractory* pada matriks tembaga komposisinya diatas 0,5 %.
Sebagai contoh perhitungan adalah sebagai berikut :

$$1. \text{ Cu} = 99,5 \%$$

$$\text{Nb} = 0,5 \%$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((99,5 \% \times 59,6 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}) + (0,5 \% \times 6,7 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1})) \\ &= 59,3355 \times 10^6 \end{aligned}$$

$$2. \text{ Cu} = 99 \%$$

$$\text{Nb} = 1 \%$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((99 \% \times 59,6 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}) + (1 \% \times 6,7 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1})) \\ &= 59,071 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1} \end{aligned}$$

$$3. \text{ Cu} = 98,5 \%$$

$$\text{Nb} = 1,5 \%$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((98,5 \% \times 59,6 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}) + (1,5 \% \times 6,7 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1})) \\ &= 58,8065 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1} \end{aligned}$$

$$4. \text{ Cu} = 98 \%$$

$$\text{Nb} = 2 \%$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((98 \% \times 59,6 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}) + (2 \% \times 6,7 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1})) \\ &= 58,542 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1} \end{aligned}$$

$$5. \text{ Cu} = 97,5 \%$$

$$\text{Nb} = 2,5 \%$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((97,5 \% \times 59,6 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}) + (2,5 \% \times 6,7 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1})) \\ &= 58,2775 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1} \end{aligned}$$

$$6. \text{ Cu} = 97 \%$$

$$\text{Nb} = 3 \%$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((97 \% \times 59,6 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}) + (3 \% \times 6,7 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1})) \\ &= 58,013 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1} \end{aligned}$$

7. Cu = 96,5 %

Nb = 3,5 %

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((96,5 \% \times 59,6 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}) + (3,5 \% \times 6,7 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1})) \\ &= 57,7485 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}\end{aligned}$$

8. Cu = 96 %

Nb = 4 %

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((96 \% \times 59,6 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}) + (4 \% \times 6,7 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1})) \\ &= 57,484 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}\end{aligned}$$

9. Cu = 95,5 %

Nb = 4,5 %

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((95,5 \% \times 59,6 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}) + (4,5 \% \times 6,7 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1})) \\ &= 57,2195 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}\end{aligned}$$

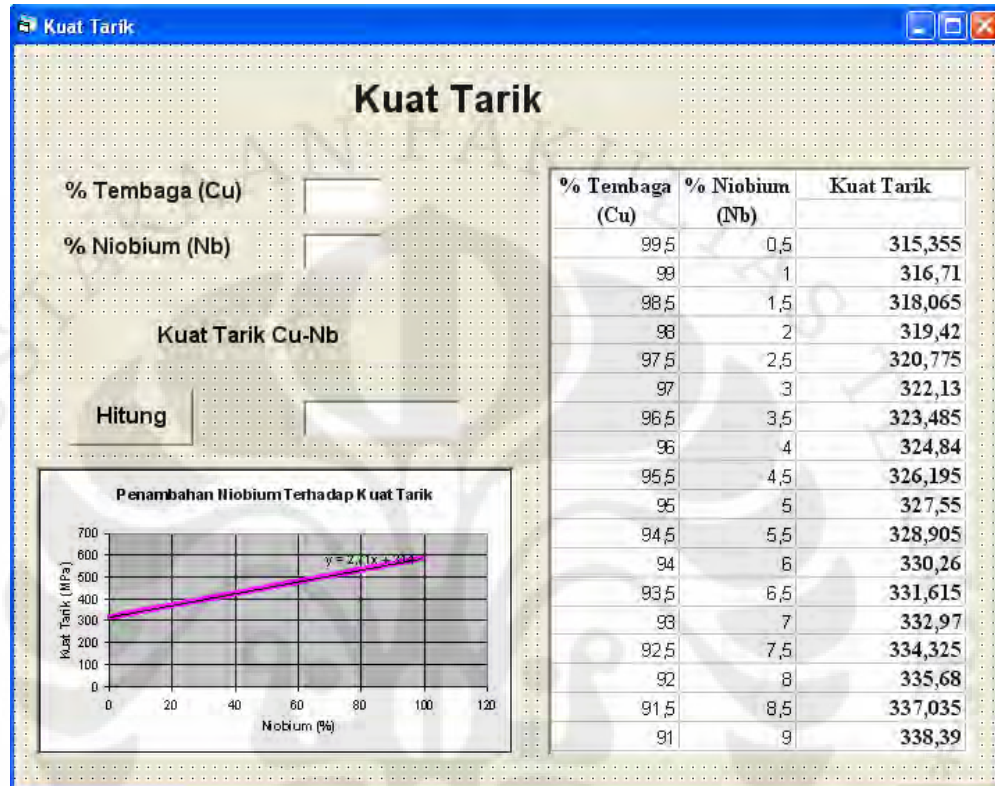
10. Cu = 95 %

Nb = 5 %

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((95 \% \times 59,6 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}) + (5 \% \times 6,7 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1})) \\ &= 56,6905 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}\end{aligned}$$

3.5 Perhitungan Kuat Tarik

Pembuatan aplikasi untuk perhitungan kuat tarik dengan menggugkan Visual Basic dapat terlihat pada gambar 3.3 yang menunjukkan antar muka visual untuk kekuatan tarik.



Gambar 3.3 Antar – muka Visual Untuk Kuat Tarik

Kuat tarik Tembaga : 314 MPa ^(12,13,23,24)

Kuat tarik Niobium : 585 MPa ^(12,13,23,24)

Dengan *heat treatment*, pada suhu yang relatif rendah, logam *refractory* dalam larut padat sempurna dapat terpisah dalam bentuk partikel – partikel dimana menyebar dalam matriks tembaga sehingga perhitungannya menjadi ((% Cu x σ Cu murni) + (% Nb x σ Nb murni)). Biasanya unsur pemadu logam *refractory* pada matriks tembaga komposisinya diatas 0,5 %. Sebagai contoh perhitungan adalah sebagai berikut :

1. Cu = 99,5 %
Nb = 0,5 %

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((99,5 \% \times 314 \text{ MPa}) + (0,5 \% \times 585 \text{ MPa})) \\ &= 315,355 \text{ MPa}\end{aligned}$$

2. Cu = 99 %

Nb = 1 %

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((99 \% \times 314 \text{ MPa}) + (1 \% \times 585 \text{ MPa})) \\ &= 316,71 \text{ MPa}\end{aligned}$$

3. Cu = 98,5 %

Nb = 1,5 %

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((98,5 \% \times 314 \text{ MPa}) + (1,5 \% \times 585 \text{ MPa})) \\ &= 318,065 \text{ MPa}\end{aligned}$$

4. Cu = 98 %

Nb = 2 %

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((98 \% \times 314 \text{ MPa}) + (2 \% \times 585 \text{ MPa})) \\ &= 319,42 \text{ MPa}\end{aligned}$$

5. Cu = 97,5 %

Nb = 2,5 %

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((97,5 \% \times 314 \text{ MPa}) + (2,5 \% \times 585 \text{ MPa})) \\ &= 320,775 \text{ MPa}\end{aligned}$$

6. Cu = 97 %

Nb = 3 %

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((97 \% \times 314 \text{ MPa}) + (3 \% \times 585 \text{ MPa})) \\ &= 322,13 \text{ MPa}\end{aligned}$$

7. Cu = 96,5 %

Nb = 3,5 %

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((96,5 \% \times 314 \text{ MPa}) + (3,5 \% \times 585 \text{ MPa}))\end{aligned}$$

$$= 323,485 \text{ MPa}$$

$$8. \text{ Cu} = 96 \%$$

$$\text{Nb} = 4 \%$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((96 \% \times 314 \text{ MPa}) + (4 \% \times 585 \text{ MPa})) \\ &= 324,84 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$9. \text{ Cu} = 95,5 \%$$

$$\text{Nb} = 4,5 \%$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((95,5 \% \times 314 \text{ MPa}) + (4,5 \% \times 585 \text{ MPa})) \\ &= 326,195 \text{ MPa} \end{aligned}$$

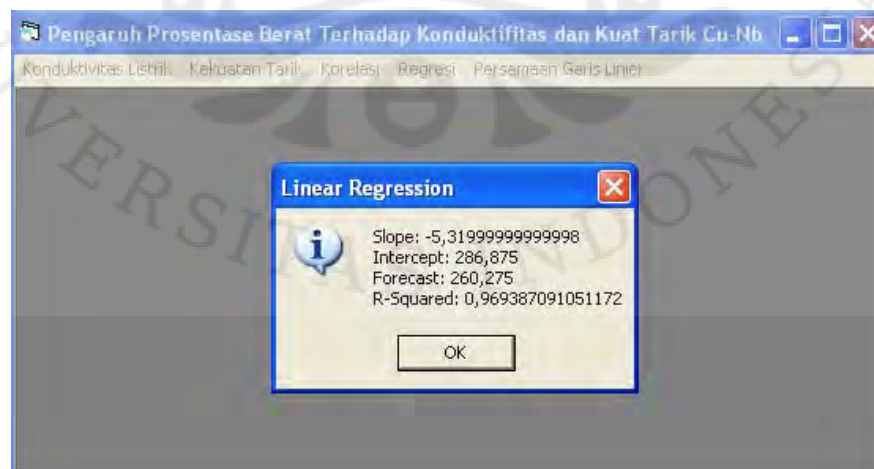
$$10. \text{ Cu} = 95 \%$$

$$\text{Nb} = 5 \%$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{Cu-Nb}} &= ((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}})) \\ &= ((95 \% \times 59,6 \times 314 \text{ MPa}) + (5 \% \times 585 \text{ MPa})) \\ &= 327,55 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3.6 Perhitungan Regresi Linier Konduktifitas dengan Kuat Tarik

Pembuatan aplikasi untuk perhitungan regresi linier konduktifitas dengan kuat tarik pada Visual Basic dapat terlihat pada gambar 3.4 yang menunjukkan antar muka visual untuk regresi linier konduktifitas dengan kuat tarik



Gambar 3.4 Antar – muka Visual Untuk Regresi Linier Konduktifitas dengan Kuat Tarik

Analisis Regresi Sederhana : digunakan untuk mengetahui pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel terikat atau dengan kata lain untuk mengetahui seberapa jauh perubahan variabel bebas dalam mempengaruhi variabel terikat. Dalam analisis regresi sederhana, pengaruh satu variabel bebas terhadap variabel terikat dapat dibuat persamaan sebagai berikut : $y = a + b x$. Keterangan : y : Variabel terikat (*Dependent Variable*); x : Variabel bebas (*Independent Variable*); a : Konstanta; dan b : Koefisien Regresi. Untuk mencari persamaan garis regresi dapat digunakan berbagai pendekatan, sehingga nilai konstanta (a) dan nilai koefisien regresi (b) dapat dicari dengan

$$\Sigma x = 6596850000$$

$$\Sigma y = 89450,5$$

$$\Sigma x^2 = 264628473675000000$$

$$\Sigma y^2 = 41413717,37$$

$$\Sigma xy = 2729924436750$$

$$a = \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)(\Sigma XY)}{n\Sigma X^2 - (\Sigma x)^2}$$

$$a = \frac{(89450)(264628473675000000) - (6596850000)(2729924436750)}{199.264628473675000000 - (6596850000)^2}$$

$$a = \frac{5662247263891330000000}{9142636338824950000}$$

$$a = 619,3232514$$

$$b = \frac{N(\Sigma XY) - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{n(\Sigma X^2) - (\Sigma x)^2}$$

$$b = \frac{199(2729924436750) - (6596850000)(89450,5)}{199(264628473675000000) - (6596850000)^2}$$

$$b = \frac{-46836568011750}{9142636338824950000}$$

$$b = -5,1228733 \times 10^{-6}$$

Sehingga persamaan regresi sederhana adalah

$$y = 619,3232514 + (-5,1228733 \times 10^{-6})x$$

3.7 Perhitungan Korelasi Konduktifitas dengan Kuat Tarik

Pembuatan aplikasi untuk perhitungan korelasi konduktifitas dengan kuat tarik pada Visual Basic dapat terlihat pada gambar 3.5 yang menunjukkan antar muka visual untuk korelasi konduktifitas dengan kuat tarik

asX	asY	% Cu	% Nb	X	Y	XY	X ²	Y ²
		99,5	0,5	59336500	315,355	18711746603	3520701560250000	99448,77603
		99	1	59071000	316,71	18708376410	3489383041000000	100305,2241
		98,5	1,5	58806500	318,065	18704289423	3458204442250000	101165,3442
		98	2	58542000	319,42	18699486640	3427165764000000	102029,1364
		97,5	2,5	58277500	320,775	18693965063	3396267006250000	102896,6006
		97	3	58013000	322,13	18687727690	3365508169000000	103767,7369
		96,5	3,5	57748500	323,485	18680773523	3334889252250000	104642,5452
		96	4	57484000	324,84	18673102560	3304410256000000	105521,0256
		95,5	4,5	57219500	326,195	18664714803	3274071180250000	106403,178
		95	5	56955000	327,55	18655610250	3243872025000000	107289,0025
		94,5	5,5	56690500	328,905	18645788903	3213812790250000	108178,499
		94	6	56426000	330,26	18635250760	3183893476000000	109071,6676
		93,5	6,5	56161500	331,615	18623995823	3154114082250000	109968,5082
		93	7	55897000	332,97	18612024090	3124474609000000	110869,0209
		92,5	7,5	55632500	334,325	18599335563	3094975056250000	111773,2056
		92	8	55368000	335,68	18585930240	3065615424000000	112681,0624
		91,5	8,5	55103500	337,035	18571808123	3036395712250000	113592,5912
		91	9	54839000	338,39	18556969210	3007315921000000	114507,7921
		90,5	9,5	54574500	339,745	18541413503	2978376050250000	115426,665
		90	10	54310000	341,1	18525141000	2949576100000000	116349,21
		89,5	10,5	54045500	342,455	18508151703	2920916070250000	117275,427
		89	11	53781000	343,81	18490445610	2892395961000000	118205,3161
		88,5	11,5	53516500	345,165	18472022723	2864015772250000	119138,8772
		88	12	53252000	346,52	18452883040	2835775504000000	120076,1104
		87,5	12,5	52987500	347,875	18433026663	2807675156250000	121017,0156
		87	13	52723000	349,23	18412453290	2779714729000000	121961,5929

Gambar 3.5 Antar – muka Visual Untuk Korelasi Konduktifitas dengan Kuat Tarik

Korelasi merupakan angka yang menunjukkan arah dan kuatnya hubungan antar dua variabel (atau lebih). Arah dinyatakan dalam bentuk hubungan positif (+) atau negatif (-), sedangkan kuatnya hubungan dinyatakan dengan besarnya koefisien korelasi.

$$r = \frac{N(\sum XiYi) - (\sum Xi)(\sum Yi)}{\sqrt{(N(\sum Xi^2) - (\sum Xi)^2) * (N(\sum Yi^2) - (\sum Yi)^2)}}$$

Keterangan :

N = Jumlah responden

x = Pertanyaan atau kuisisioner

y = Pertanyaan atau kuisisioner

$$\Sigma x = 6596850000$$

$$\Sigma y = 89450,5$$

$$\Sigma x^2 = 264628473675000000$$

$$\Sigma y^2 = 41413717,37$$

$$\Sigma xy = 2729924436750$$

r

$$\frac{199(2729924436750) - (6596850000)(89450,5)}{\sqrt{(199(264628473675000000) - (6596850000)^2) * (199(41413717,37) - (89450,5)^2)}}$$

$$r = \frac{-46836568011750}{\sqrt{219366410311926000000000000000}}$$

$$r = \frac{-46836568011750}{46836568010000}$$

$$r = -1$$

$$R = r^2 \times 100\%$$

$$R = (-1)^2 \times 100\%$$

$$R = 1 \times 100\%$$

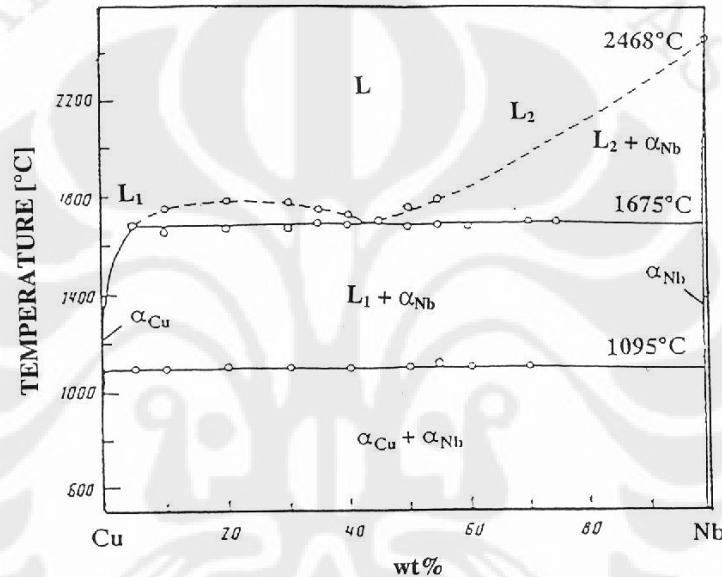
$$R = 100\%$$

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Diagram Fasa Paduan Tembaga – Niobium (Cu – Nb)

Niobium merupakan logam yang istimewa, walaupun dia mempunyai titik lebur yang sangat tinggi akan tetapi mudah dipadukan pada suhu yang relatif rendah. Apabila dipadukan dengan Tembaga yang mempunyai titik lebur cukup rendah dapat dilihat pada digram fasa gambar 4.1.



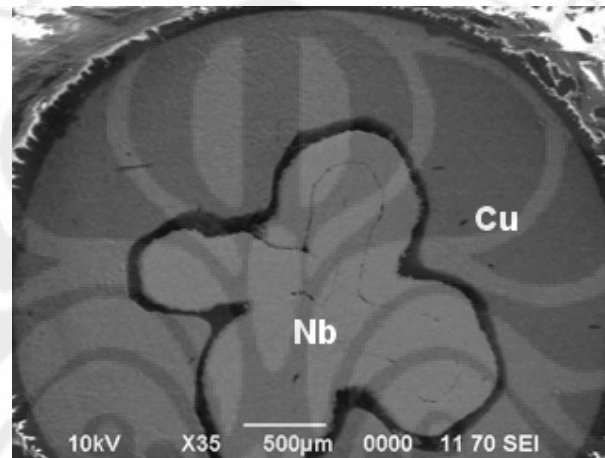
Gambar 4.1 Diagram Fasa Paduan Tembaga – Niobium (Cu – Nb)⁽²⁵⁾

Gambar 4.1 memperlihatkan bahwa untuk memadukan Tembaga dan Niobium tidak memerlukan pemanasan sampai titik leburnya, bahkan dibawah suhu 1000°C Tembaga dan Niobium sudah dapat dipadukan dan terbentuk fasa $\alpha_{Cu} + \alpha_{Nb}$. Sedangkan pada suhu 1095°C Tembaga sudah mulai mencair sehingga fasa yang terbentuk adalah $L1 + \alpha_{Nb}$.

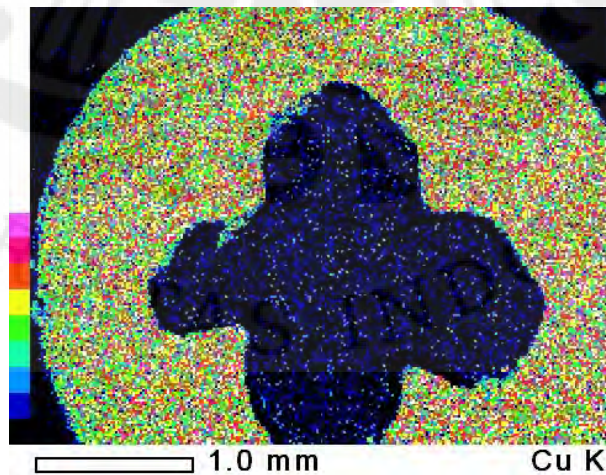
Pada Cu 100% maka titik leburnya 1095°C dan seiring dengan penambahan Niobium titik lebur paduan semakin naik sehingga pada suhu 1675°C terdapat titik terendah dimana keduanya sudah mencair yaitu pada komposisi ± Cu 42 Nb 58 wt%. Sedangkan dengan komposisi Niobium yang

semakin tinggi maka titik lebur paduan tersebut semakin naik dan pada Niobium 100% titik leburnya 2468°C .

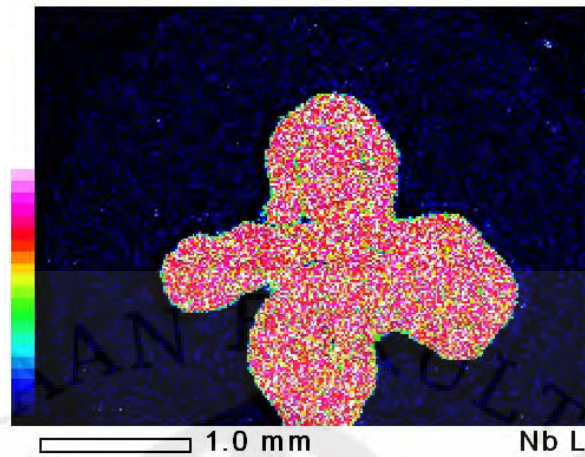
Dari diagram fasa diatas dapat kita lihat bahwa Tembaga dan Niobium dapat saling larut padat sempurna dan untuk memadukan ke 2 unsur tersebut tidak diperlukan pemanasan sampai titik leburnya. Sehingga hanya dengan melakukan pemanasan (*heat treatment*) pada suhu dibawah 1000°C keduanya sudah dapat saling memadu dan terbentuk paduan $\alpha\text{Cu} + \alpha\text{Nb}$.



Gambar 4.2 Foto Makro Penampang Melintang Sampel Kawat Cu-Nb
Pada Perbesaran 35 x ⁽²⁶⁾

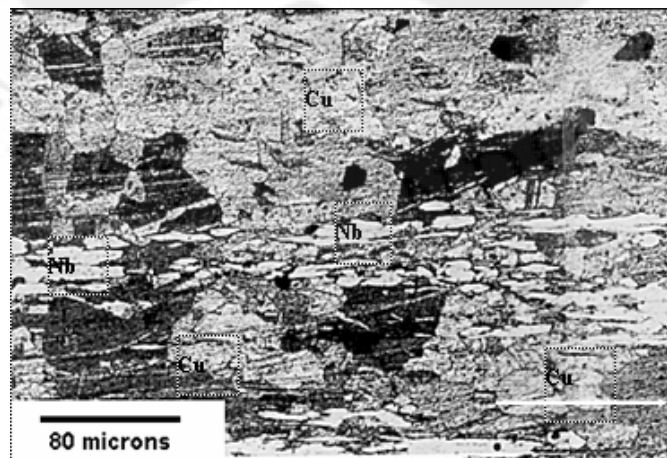


Gambar 4.3 Mapping Cu Sampel Kawat Cu-Nb ⁽²⁶⁾



Gambar 4.4 Mapping Nb Sampel Kawat Cu-Nb ⁽²⁶⁾

Gambar 4.2, merupakan penampang melintang kawat Tembaga – Niobium (Cu-Nb), dapat dilihat bahwa metoda pemaduan Tembaga (Cu) dan Niobium (Nb) dilakukan dengan cara meletakkan Niobium (Nb) ditengah-tengah Tembaga (Cu) yang berbentuk silinder kemudian di *heattreatment*. Dari gambar 4.3 dan 4.4 dapat dilihat sebaran Tembaga (Cu) dan sebaran Niobium (Nb). Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa didalam Tembaga (warna hijau) terdapat titik-titik merah (Niobium), dan didalam Niobium (warna merah) terdapat titik-titik berwarna hijau (Tembaga). Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi pemaduan antara Tembaga (Cu) dan Niobium (Nb).



Gambar 4.5 Struktur Mikro Paduan Tembaga – Niobium (Cu – Nb) ⁽²⁵⁾

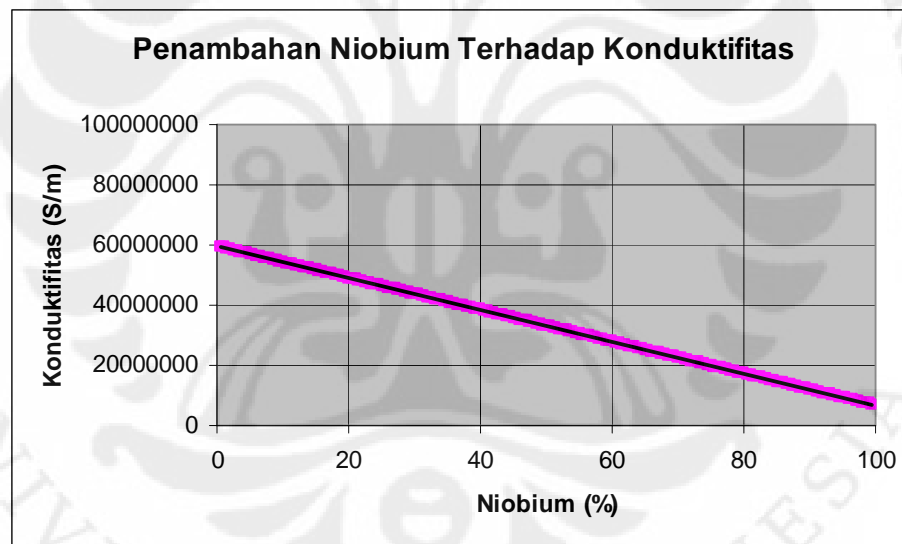
Struktur mikro dari gambar 4.5 akan lebih menjelaskan bahwa proses pemaduan telah terjadi dan dapat dilihat terdapat Tembaga (Cu) dan Niobium (Nb) pada gambar mikro tersebut.

4.2 Data dan Analisa Konduktifitas Listrik

Pengaruh penambahan Niobium terhadap konduktifitas listrik paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb) dianalisa berdasarkan perhitungan $((\% \text{ Cu} \times \sigma_{\text{Cu murni}}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma_{\text{Nb murni}}))$ nilai konduktivitas listrik Tembaga murni dan Niobium murni. Data pengaruh penambahan Niobium terhadap konduktifitas listrik dapat dilihat pada gambar 4.6.

Konduktifitas listrik Tembaga : $59,6 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}$ (12,13,23,24)

Konduktifitas listrik Niobium : $6,7 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}$ (12,13,23,24)



Gambar 4.6. Grafik Penambahan Niobium Terhadap Konduktifitas Listrik

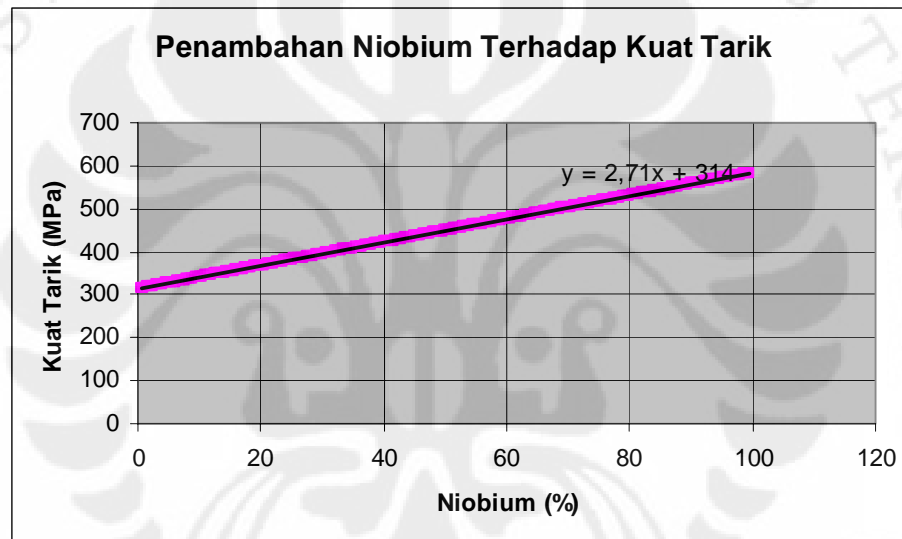
Nilai konduktifitas listrik Niobium yang lebih rendah dari Tembaga akan mempengaruhi nilai konduktifitas listrik paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb). Semakin besar prosentase penambahan Niobium ke dalam paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb) akan semakin menurunkan nilai konduktifitas listriknya.

4.3 Data dan Analisa Kuat Tarik

Pengaruh penambahan Niobium terhadap kuat tarik paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb) dianalisa berdasarkan perhitungan $((\% \text{ Cu} \times \sigma \text{ Cu murni}) + (\% \text{ Nb} \times \sigma \text{ Nb murni}))$ nilai kekuatan tarik Tembaga murni dan Niobium murni. Data pengaruh penambahan Niobium terhadap kuat tarik dapat dilihat pada gambar 4.7.

Kuat tarik Tembaga : 314 MPa ^(12,13,23,24)

Kuat tarik Niobium : 585 MPa ^(12,13,23,24)



Gambar 4.7. Grafik Penambahan Niobium Terhadap Kuat Tarik

Nilai kuat tarik Niobium yang lebih tinggi dari Tembaga akan mempengaruhi nilai kuat tarik paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb). Semakin besar prosentase penambahan Niobium ke dalam paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb) akan semakin menaikkan nilai kuat tariknya.

4.4 Analisa Regresi Linier Konduktifitas dengan Kuat Tarik

Regresi merupakan suatu alat ukur yang digunakan untuk menggambarkan ada atau tidak adanya korelasi antar variabel. Persamaan regresi linier dari x dan y dengan rumus $y = a + bx$, dimana a menyatakan

intersep atau perpotongan dengan sumbu tegak dan b adalah kemiringan atau gradiennya^(14,15).

$$\Sigma x = 6596850000$$

$$\Sigma y = 89450,5$$

$$\Sigma x^2 = 264628473675000000$$

$$\Sigma y^2 = 41413717,37$$

$$\Sigma xy = 2729924436750$$

$$a = \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)(\Sigma XY)}{n\Sigma X^2 - (\Sigma x)^2}$$

$$a = \frac{(89450)(264628473675000000) - (6596850000)(2729924436750)}{199 \cdot 264628473675000000 - (6596850000)^2}$$

$$a = \frac{5662247263891330000000}{9142636338824950000}$$

$$a = 619,3232514$$

$$b = \frac{N(\Sigma XY) - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{n(\Sigma X^2) - (\Sigma x)^2}$$

$$b = \frac{199(2729924436750) - (6596850000)(89450,5)}{199(264628473675000000) - (6596850000)^2}$$

$$b = \frac{-46836568011750}{9142636338824950000}$$

$$b = -5,1228733 \times 10^{-6}$$

Koefisien regresi sangat dipengaruhi dengan nilai taksiran b, maka uji signifikansi koefisien regresi dapat dilakukan dengan menguji signifikansi regresi b. Pengujian ini adalah menguji hipotesis yang mengatakan apakah beta sama dengan nol atau tidak. Analisa kelinieran regresi dapat dilakukan melalui perhitungan yang dilakukan dengan membandingkan nilai b dan simpangan baku koefisien regresi yaitu $T = \frac{b}{\sigma}$

Dalam pengujian ini dibutuhkan simpangan baku dari koefisien regresi yang dihitung melalui perhitungan ragam atau variance menggunakan rumus :

$$\sigma^2 = \frac{N(\Sigma Y^2) - (\Sigma Y)^2 \frac{(N(\Sigma XY) - (\Sigma X)(\Sigma Y))^2}{N(\Sigma X^2) - (\Sigma x)^2}}{(N - 2) * (N(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2)}$$

$$\sigma^2 = \frac{199(41413717,37) - (89450,5)^2 (-5,1228733 \times 10^{-6})}{(199 - 2) * (N(264628473675000000) - (6596850000))}$$

$$\sigma^2 = \frac{8241288766}{1801099358748510000000}$$

$$\sigma^2 = 4,57569913 \times 10^{-12}$$

Dimana simpangan baku sebesar :

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

$$\sigma = \sqrt{4,57569913 \times 10^{-12}}$$

$$\sigma = 2,139088388 \times 10^{-6}$$

$$T = \frac{b}{\sigma}$$

$$T = \frac{-5,1228733 \times 10^{-6}}{2,139088388 \times 10^{-6}} = -2,394886218$$

Hasil dari suatu analisis regresi linier tidak lain adalah persamaan linier $y = a + bx$. y disebut dengan peubah terikat atau peubah respons atau peubah akibat. x disebut dengan peubah bebas atau peubah faktor atau peubah sebab. a dan b disebut dengan parameter regresi dugaan atau statistik regresi.

Analisis regresi merupakan salah satu analisis yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh suatu variabel terhadap variabel lain. Dalam analisis regresi, variabel yang mempengaruhi disebut Independent Variable (variabel bebas) dan variabel yang dipengaruhi disebut Dependent Variable (variabel terikat). Jika dalam persamaan regresi hanya terdapat satu variabel bebas dan satu variabel terikat, maka disebut sebagai persamaan regresi sederhana, sedangkan jika variabel bebasnya lebih dari satu, maka disebut sebagai persamaan regresi berganda.

Analisis Regresi Sederhana digunakan untuk mengetahui pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel terikat atau dengan kata lain untuk mengetahui seberapa jauh perubahan variabel bebas dalam mempengaruhi variabel terikat. Dalam analisis regresi sederhana, pengaruh satu variabel bebas terhadap variabel terikat dapat dibuat persamaan sebagai berikut : $y = a + b x$. Keterangan : y : Variabel terikat (*Dependent Variable*); x : Variabel bebas (*Independent Variable*); a : Konstanta; dan b : Koefisien Regresi. Untuk mencari persamaan garis regresi dapat digunakan berbagai pendekatan, sehingga nilai konstanta (a) dan nilai koefisien regresi (b) dapat dicari sehingga persamaan regresi sederhana adalah

$$y = 619,3232514 + (-5,1228733 \times 10^{-6})x$$

Berdasarkan hasil penghitungan dan persamaan regresi sederhana tersebut di atas, maka dapat diketahui bahwa :

- Konduktifitas mempunyai pengaruh negatif (koefisien regresi (b) = $-5,1228733 \times 10^{-6}$) terhadap kuat tarik, artinya jika semakin besar konduktifitas maka akan semakin turun atau kecil kuat tariknya;
- Nilai konstanta adalah sebesar 619,3232514, artinya jika konduktifitas sama dengan nol, maka kuat tariknya adalah sebesar 619,3232514 dengan asumsi variabel-variabel lain yang dapat mempengaruhi dianggap tetap.

4.5 Analisa Korelasi Konduktifitas dengan Kuat Tarik

Korelasi (r) merupakan istilah yang digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan antar variabel. Analisa korelasi adalah cara untuk mengetahui ada atau tidak adanya hubungan tersebut^(15,16).

$$r = \frac{N(\sum XiYi) - (\sum Xi)(\sum Yi)}{\sqrt{(N(\sum Xi^2) - (\sum Xi)^2) * (N(\sum Yi^2) - (\sum Yi)^2)}}$$

Keterangan :

N = Jumlah responden

x = Pertanyaan atau kuisisioner

y = Pertanyaan atau kuisisioner

$\sum x$ = 6596850000

$\sum y$ = 89450,5

$$\Sigma x^2 = 264628473675000000$$

$$\Sigma y^2 = 41413717,37$$

$$\Sigma xy = 2729924436750$$

$$r =$$

$$r = \frac{199(2729924436750) - (6596850000)(89450,5)}{\sqrt{(199(264628473675000000) - (6596850000)^2) * (199(41413717,37) - (89450,5)^2) - 46836568011750}}$$

$$r = \frac{-46836568011750}{46836568010000}$$

$$r = -1$$

Koefisien Penentu (KP) atau koefisien determinasi (R) yang menjelaskan besarnya pengaruh nilai suatu variabel (variabel x) terhadap naik atau turunnya nilai variabel lainnya (variabel y). Koefisien penentu dirumuskan :

$$R = r^2 \times 100\%$$

$$R = (-1)^2 \times 100 \%$$

$$R = 1 \times 100 \%$$

$$R = 100 \%$$

Koefisien Korelasi (r) : ukuran hubungan linier peubah x dan y. Nilai r yang (-) ditandai oleh nilai b yang (-). Hubungan dua variabel dinyatakan negatif jika nilai suatu variabel ditingkatkan maka akan menurunkan nilai variabel lainnya, sebaliknya jika nilai variabel tersebut diturunkan maka akan menaikkan nilai variabel yang lain. Nilai r = -1 maka x dan y memiliki korelasi linier sempurna dan berlawanan arah, jika x membesar maka y akan mengecil. Nilai R = 100 % menunjukkan bahwa proporsi keragaman nilai peubah y (kuat tarik) dapat dijelaskan oleh nilai peubah x (konduktifitas) melalui hubungan linier.

Dari hasil ini ternyata didapat korelasi negatif antara konduktifitas listrik x dan kuat tarik y , berarti meningkatnya konduktifitas menurunkan kuat tarik begitu pula sebaliknya, menurunnya konduktifitas, meningkatkan kuat tarik. Besar hubungannya ditentukan oleh koefisien determinasi $r^2 = 1$ atau sebesar 100 %. Ini berarti bahwa meningkatnya atau menurunnya konduktifitas listrik dapat dijelaskan oleh kuat tarik melalui hubungan linier x dan y .

Analisis Korelasi merupakan suatu analisis untuk mengetahui tingkat keeratan hubungan antara dua variabel. Tingkat hubungan tersebut dapat dibagi menjadi tiga kriteria, yaitu mempunyai hubungan positif, mempunyai hubungan negatif dan tidak mempunyai hubungan.

Korelasi merupakan angka yang menunjukkan arah dan kuatnya hubungan antar dua variabel (atau lebih). Arah dinyatakan dalam bentuk hubungan positif (+) atau negatif (-), sedangkan kuatnya hubungan dinyatakan dengan besarnya koefisien korelasi.

Hubungan dua variabel dinyatakan negatif jika nilai suatu variabel ditingkatkan maka akan menurunkan nilai variabel lainnya, sebaliknya jika nilai variabel tersebut diturunkan maka akan menaikkan nilai variabel yang lain.

Analisis Korelasi (r) digunakan untuk mengukur tinggi redahnya derajat hubungan antar variabel yang diteliti. Tinggi rendahnya derajat keeratan tersebut dapat dilihat dari koefisien korelasinya. Koefisien korelasi sama dengan -1 berarti hubungan kedua variabel adalah sangat erat atau sangat sempurna dan hal ini sangat jarang terjadi dalam data riil.

Nilai koefisien korelasi sebesar -1 menggambarkan bahwa antara konduktifitas dan kuat tarik mempunyai hubungan negatif, yaitu jika konduktifitas baik maka kuat tariknya jelek dan sebaliknya jika konduktifitas jelek maka kuat tariknya baik.

4.6 Penyelesaian Sistem Persamaan Linier Konduktifitas dengan Kuat Tarik

Dari grafik penambahan niobium untuk konduktifitas dan kuat tarik, didapatkan persamaan linier :

$$y_1 = -529000x + 59600000 \text{ dan}$$

$$y_2 = 2,71x + 314$$

Langkah penyelesaiannya menggunakan Metode Substitusi :

Mengurangi sistem persamaan yang besar menjadi sistem persamaan linier dan variabel yang lebih kecil. Proses ini dilakukan dengan mengambil salah satu persamaan untuk ditambahkan atau disubstitusikan ke persamaan linier yang lain untuk mengeliminasi variabel tertentu.

Kita ambil persamaan kedua yang akan disubstitusikan yaitu

$$y_2 = 2,71x + 314$$

Kemudian persamaan tersebut kita ubah menjadi

$$y_2 - 2,7x = 314$$

$$-2,7x = 314 - y_2$$

$$x = \frac{314 - y_2}{-2,7}$$

$$x = -116,296 + \frac{y_2}{2,7}$$

Kemudian persamaan yang diubah tersebut di substitusikan ke persamaan $y_1 = -529000x + 59600000$ menjadi :

$$y_1 = -529000x + 59600000$$

$$y_1 = -529000(-116,296 + \frac{y_2}{2,7}) + 59600000$$

$$y_1 = 61520584 - \frac{529000y_2}{2,7} + 59600000$$

$$y_1 = 61520584 - 195925,9259y_2 + 59600000$$

$$y_1 = 121120584 - 195925,9259y_2$$

Titik potong dengan sumbu y_1 apabila $y_2 = 0$

$$y_1 = 121120584 - 195925,9259y_2$$

$$y_1 = 121120584 - 195925,9259(0)$$

$$y_1 = 121120584$$

Titik potong dengan sumbu y_2 apabila $y_1 = 0$

$$y_1 = 121120584 - 195925,9259y_2$$

$$y_1 + 195925,9259y_2 = 121120584$$

$$0 + 195925,9259y_2 = 121120584$$

$$195925,9259y_2 = 121120584$$

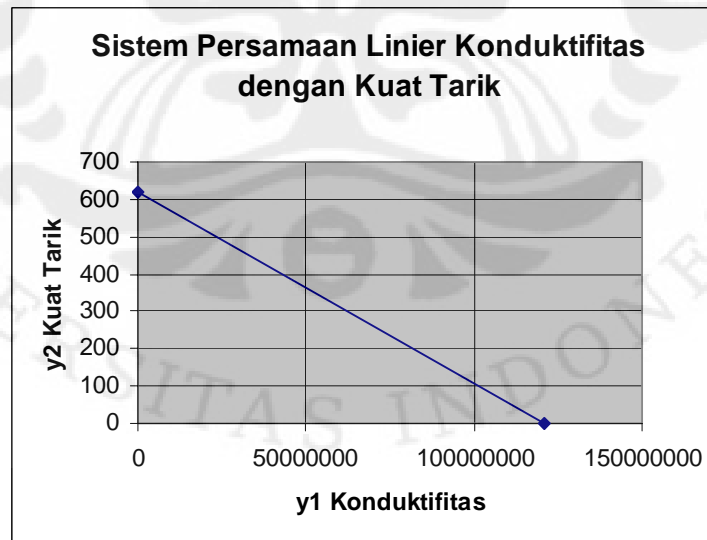
$$y_2 = \frac{121120584}{195925,9259}$$

$$y_2 = 618,196$$

Tabel 4.1. Tabel Koordinat y_1 dan y_2

	$y_1 = 121120584 - 195925,9259y_2$	
y_1	121120584	0
y_2	0	618,196

Dari tabel 4.1, maka grafik penyelesaian sistem persamaan linier konduktifitas dengan kuat tarik dapat dilihat pada gambar 4.8 berikut :



Gambar 4.8 Grafik Sistem Persamaan Linier Konduktifitas dengan Kuat Tarik

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari analisis pengaruh prosentase berat (wt%) terhadap konduktifitas dan kuat tarik paduan Tembaga – Niobium (Cu – Nb) adalah sebagai berikut :

1. Semakin besar prosentase penambahan Niobium ke dalam paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb) akan semakin menurunkan nilai konduktifitasnya.
2. Semakin besar prosentase penambahan Niobium ke dalam paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb) akan semakin menaikkan nilai kuat tariknya.
3. Dari perhitungan regresi linier konduktifitas dengan kuat tarik dihasilkan koefisien regresi $(b) = -5,1228733 \times 10^{-6}$ sehingga konduktifitas mempunyai pengaruh negatif terhadap kuat tarik, artinya jika semakin besar konduktifitas maka akan semakin turun atau kecil kuat tariknya.
4. Dari perhitungan korelasi konduktifitas dengan kuat tarik dihasilkan nilai koefisien korelasi sebesar -1 menggambarkan bahwa antara konduktifitas dan kuat tarik mempunyai hubungan negatif, yaitu jika konduktivitas listrik baik maka kuat tariknya jelek dan sebaliknya jika konduktifitas jelek maka kuat tariknya baik, maka x dan y memiliki korelasi linier sempurna dan berlawanan arah, jika x membesar maka y akan mengecil. Nilai $R = 100\%$ menunjukkan bahwa proporsi keragaman nilai peubah y (kuat tarik) dapat dijelaskan oleh nilai peubah x (konduktifitas) melalui hubungan linier.

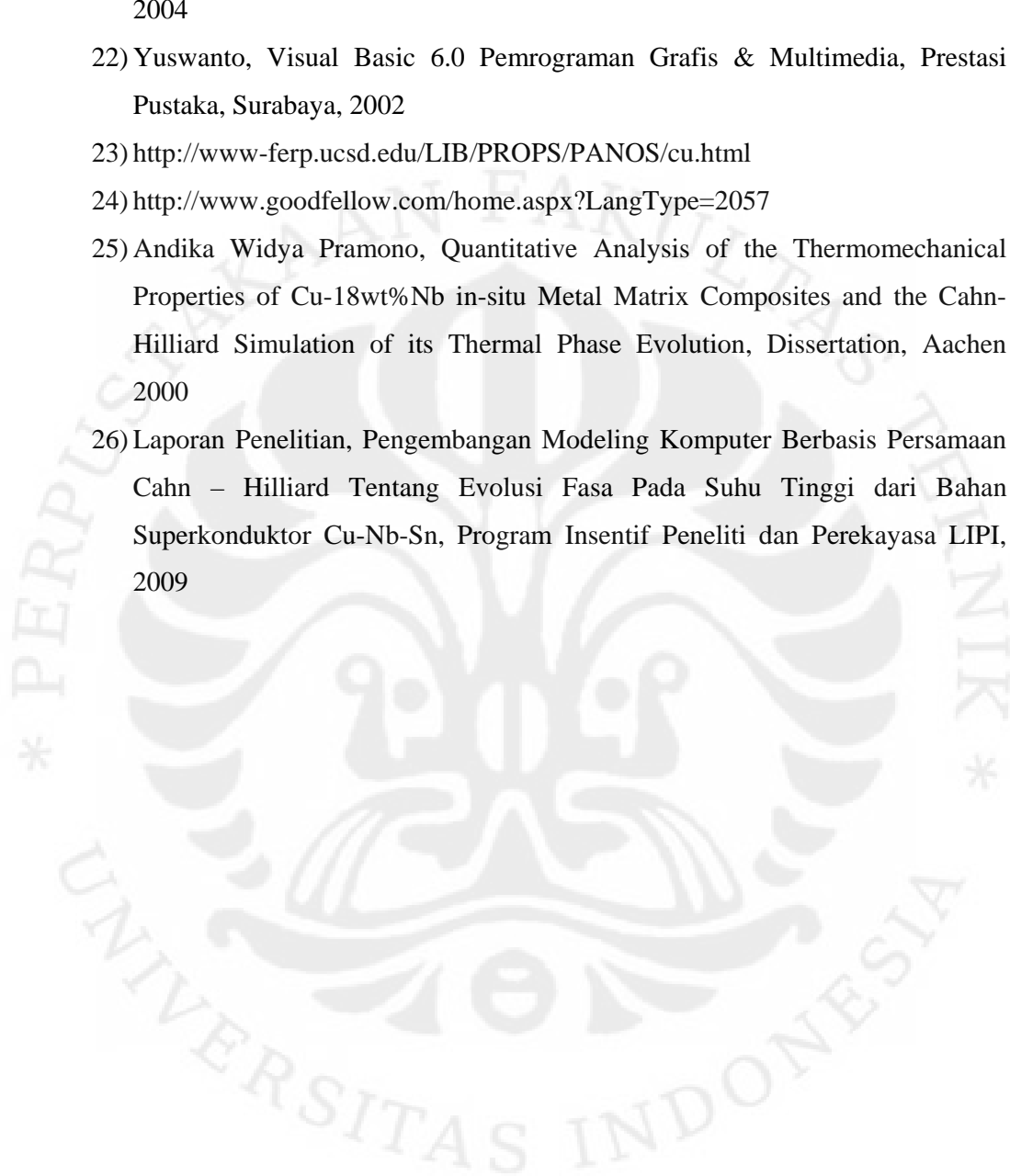
5.2 Saran

Perhitungan ini hanya berdasarkan persen berat (% wt) paduan Tembaga – Niobium (Cu-Nb). Perlu dilakukan perhitungan secara persen atom untuk memberikan data yang lebih akurat.

DAFTAR REFERENSI

- 1) <http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/09/konduktor.html>
- 2) <http://www.patentstorm.us/patents/4487637/fulltext.html>
- 3) <http://www.patentstorm.us/patents/5252147/fulltext.html>
- 4) <http://id.wikipedia.org/wiki/copper>
- 5) Sidney H. Avner, Introduction to Physical Metallurgy, McGraw-Hill Book Company, 1974
- 6) George E. Dieter, Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill Book Company, 1988
- 7) William D. Callister. Jr, Materials Science and Engineering an Introduction, Replika Press. Ltd. India, 2004
- 8) <http://en.wikipedia.org/wiki/Niobium>
- 9) Douglas C. Giancoli, Fisika, Erlangga, 1998
- 10) http://id.wikipedia.org/wiki/Konduktivitas_listrik
- 11) http://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistivity
- 12) JIS Handbook, Non-Ferrous Metals & Metallurgy, Japanese Standards Association, 2001
- 13) ASM Handbook, Volume 2 Properties and Selection : Nonferrous Alloys and Special – Purpose Materials, ASM International The Materials Information Company, 1990
- 14) http://en.wikipedia.org/wiki/Linear_regression
- 15) Aunuddin, Statistika : Rancangan dan Analisis Data, IPB PRESS, 2005
- 16) http://en.wikipedia.org/wiki/Correlation_and_dependence
- 17) Wiryanto Dewobroto, Aplikasi Sain dan Teknik dengan Visual basic 6.0, Elex Media Komputindo Jakarta, 2003
- 18) Yuniar Supardi, Microsoft Visual Basic 2005 untuk Segala Tingkat, Elex Media Komputindo, Jakarta, 2008
- 19) Arief Ramadhan, 36 Jam Belajar Komputer Visual Basic 2005, Elex Media Komputindo, Jakarta, 2007
- 20) Abdul Razaq, Pemrograman Microsoft Visual Basic 6.0, Indah, Surabaya, 2004

- 21) Hengky Alexander Mangkulo, Belajar Sendiri Membuat Aplikasi Database Sistem Inventori dengan Visual Basic 6.0, Elex Media Komputindo, Jakarta, 2004
- 22) Yuswanto, Visual Basic 6.0 Pemrograman Grafis & Multimedia, Prestasi Pustaka, Surabaya, 2002
- 23) <http://www-ferp.ucsd.edu/LIB/PROPS/PANOS/cu.html>
- 24) <http://www.goodfellow.com/home.aspx?LangType=2057>
- 25) Andika Widya Pramono, Quantitative Analysis of the Thermomechanical Properties of Cu-18wt%Nb in-situ Metal Matrix Composites and the Cahn-Hilliard Simulation of its Thermal Phase Evolution, Dissertation, Aachen 2000
- 26) Laporan Penelitian, Pengembangan Modeling Komputer Berbasis Persamaan Cahn – Hilliard Tentang Evolusi Fasa Pada Suhu Tinggi dari Bahan Superkonduktor Cu-Nb-Sn, Program Insentif Peneliti dan Perekayasa LIPI, 2009



LAMPIRAN

Lampiran 1. Penambahan Niobium Terhadap Konduktifitas

% Tembaga (Cu)	% Niobium (Nb)	Konduktifitas Tembaga – Niobium (S.m ⁻¹)
99,5	0,5	59,3355 x 10 ⁶
99	1	59,071 x 10 ⁶
98,5	1,5	58,8065 x 10 ⁶
98	2	58,542 x 10 ⁶
97,5	2,5	58,2775 x 10 ⁶
97	3	58,013 x 10 ⁶
96,5	3,5	57,7485 x 10 ⁶
96	4	57,484 x 10 ⁶
95,5	4,5	57,2195 x 10 ⁶
95	5	56,955 x 10 ⁶
94,5	5,5	56,6905 x 10 ⁶
94	6	56,426 x 10 ⁶
93,5	6,5	56,1615 x 10 ⁶
93	7	55,897 x 10 ⁶
92,5	7,5	55,6325 x 10 ⁶
92	8	55,368 x 10 ⁶
91,5	8,5	55,1035 x 10 ⁶
91	9	54,839 x 10 ⁶
90,5	9,5	54,5745 x 10 ⁶
90	10	54,31 x 10 ⁶
89,5	10,5	54,0455 x 10 ⁶
89	11	53,781 x 10 ⁶
88,5	11,5	53,5165 x 10 ⁶
88	12	53,252 x 10 ⁶
87,5	12,5	52,9875 x 10 ⁶
87	13	52,723 x 10 ⁶
86,5	13,5	52,4585 x 10 ⁶
86	14	52,194 x 10 ⁶
85,5	14,5	51,9295 x 10 ⁶
85	15	51,665 x 10 ⁶
84,5	15,5	51,4005 x 10 ⁶
84	16	51,136 x 10 ⁶
83,5	16,5	50,8715 x 10 ⁶
83	17	50,607 x 10 ⁶
82,5	17,5	50,3425 x 10 ⁶
82	18	50,078 x 10 ⁶
81,5	18,5	49,8135 x 10 ⁶
81	19	49,549 x 10 ⁶

Universitas Indonesia

80,5	19,5	49,2845 x 10⁶
80	20	49,02 x 10⁶
79,5	20,5	48,7555 x 10⁶
79	21	48,491 x 10⁶
78,5	21,5	48,2265 x 10⁶
78	22	47,962 x 10⁶
77,5	22,5	47,6975 x 10⁶
77	23	47,433 x 10⁶
76,5	23,5	47,1685 x 10⁶
76	24	46,904 x 10⁶
75,5	24,5	46,6395 x 10⁶
75	25	46,375 x 10⁶
74,5	25,5	46,1105 x 10⁶
74	26	45,846 x 10⁶
73,5	26,5	45,5815 x 10⁶
73	27	45,317 x 10⁶
72,5	27,5	45,0525 x 10⁶
72	28	44,788 x 10⁶
71,5	28,5	44,5235 x 10⁶
71	29	44,259 x 10⁶
70,5	29,5	43,9945 x 10⁶
70	30	43,73 x 10⁶
69,5	30,5	43,4655 x 10⁶
69	31	43,201 x 10⁶
68,5	31,5	42,9365 x 10⁶
68	32	42,672 x 10⁶
67,5	32,5	42,4075 x 10⁶
67	33	42,143 x 10⁶
66,5	33,5	41,8785 x 10⁶
66	34	41,614 x 10⁶
65,5	34,5	41,3495 x 10⁶
65	35	41,085 x 10⁶
64,5	35,5	40,8205 x 10⁶
64	36	40,556 x 10⁶
63,5	36,5	40,2915 x 10⁶
63	37	40,027 x 10⁶
62,5	37,5	39,7625 x 10⁶
62	38	39,498 x 10⁶
61,5	38,5	39,2335 x 10⁶
61	39	38,969 x 10⁶
60,5	39,5	38,7045 x 10⁶
60	40	38,44 x 10⁶
59,5	40,5	38,1755 x 10⁶
59	41	37,911 x 10⁶
58,5	41,5	37,6465 x 10⁶
58	42	37,382 x 10⁶

57,5	42,5	37,1175 x 10⁶
57	43	36,853 x 10⁶
56,5	43,5	36,5885 x 10⁶
56	44	36,324 x 10⁶
55,5	44,5	36,0595 x 10⁶
55	45	35,795 x 10⁶
54,5	45,5	35,5305 x 10⁶
54	46	35,266 x 10⁶
53,5	46,5	35,0015 x 10⁶
53	47	34,737 x 10⁶
52,5	47,5	34,4725 x 10⁶
52	48	34,208 x 10⁶
51,5	48,5	33,9435 x 10⁶
51	49	33,679 x 10⁶
50,5	49,5	33,4145 x 10⁶
50	50	33,15 x 10⁶
49,5	50,5	32,8855 x 10⁶
49	51	32,621 x 10⁶
48,5	51,5	32,3565 x 10⁶
48	52	32,092 x 10⁶
47,5	52,5	31,8275 x 10⁶
47	53	31,563 x 10⁶
46,5	53,5	31,2985 x 10⁶
46	54	31,034 x 10⁶
45,5	54,5	30,7695 x 10⁶
45	55	30,505 x 10⁶
44,5	55,5	30,2405 x 10⁶
44	56	29,976 x 10⁶
43,5	56,5	29,7115 x 10⁶
43	57	29,447 x 10⁶
42,5	57,5	29,1825 x 10⁶
42	58	28,918 x 10⁶
41,5	58,5	28,6535 x 10⁶
41	59	28,389 x 10⁶
40,5	59,5	28,1245 x 10⁶
40	60	27,86 x 10⁶
39,5	60,5	27,5955 x 10⁶
39	61	27,331 x 10⁶
38,5	61,5	27,0665 x 10⁶
38	62	26,802 x 10⁶
37,5	62,5	26,5375 x 10⁶
37	63	26,273 x 10⁶
36,5	63,5	26,0085 x 10⁶
36	64	25,744 x 10⁶
35,5	64,5	25,4795 x 10⁶
35	65	25,215 x 10⁶

34,5	65,5	24,9505 x 10⁶
34	66	24,686 x 10⁶
33,5	66,5	24,4215 x 10⁶
33	67	24,157 x 10⁶
32,5	67,5	23,8925 x 10⁶
32	68	23,628 x 10⁶
31,5	68,5	23,3635 x 10⁶
31	69	23,099 x 10⁶
30,5	69,5	22,8345 x 10⁶
30	70	22,57 x 10⁶
29,5	70,5	22,3055 x 10⁶
29	71	22,041 x 10⁶
28,5	71,5	21,7765 x 10⁶
28	72	21,512 x 10⁶
27,5	72,5	21,2475 x 10⁶
27	73	20,983 x 10⁶
26,5	73,5	20,7185 x 10⁶
26	74	20,454 x 10⁶
25,5	74,5	20,1895 x 10⁶
25	75	19,925 x 10⁶
24,5	75,5	19,6605 x 10⁶
24	76	19,396 x 10⁶
23,5	76,5	19,1315 x 10⁶
23	77	18,867 x 10⁶
22,5	77,5	18,6025 x 10⁶
22	78	18,338 x 10⁶
21,5	78,5	18,0735 x 10⁶
21	79	17,809 x 10⁶
20,5	79,5	17,5445 x 10⁶
20	80	17,28 x 10⁶
19,5	80,5	17,0155 x 10⁶
19	81	16,751 x 10⁶
18,5	81,5	16,4865 x 10⁶
18	82	16,222 x 10⁶
17,5	82,5	15,9575 x 10⁶
17	83	15,693 x 10⁶
16,5	83,5	15,4285 x 10⁶
16	84	15,164 x 10⁶
15,5	84,5	14,8995 x 10⁶
15	85	14,635 x 10⁶
14,5	85,5	14,3705 x 10⁶
14	86	14,106 x 10⁶
13,5	86,5	13,8415 x 10⁶
13	87	13,577 x 10⁶
12,5	87,5	13,3125 x 10⁶
12	88	13,048 x 10⁶

11,5	88,5	12,7835 x 10⁶
11	89	12,519 x 10⁶
10,5	89,5	12,2545 x 10⁶
10	90	11,99 x 10⁶
9,5	90,5	11,7255 x 10⁶
9	91	11,461 x 10⁶
8,5	91,5	11,1965 x 10⁶
8	92	10,932 x 10⁶
7,5	92,5	10,6675 x 10⁶
7	93	10,403 x 10⁶
6,5	93,5	10,1385 x 10⁶
6	94	9,874 x 10⁶
5,5	94,5	9,6095 x 10⁶
5	95	9,345 x 10⁶
4,5	95,5	9,0805 x 10⁶
4	96	8,816 x 10⁶
3,5	96,5	8,5515 x 10⁶
3	97	8,287 x 10⁶
2,5	97,5	8,0225
2	98	7,758 x 10⁶
1,5	98,5	7,4935 x 10⁶
1	99	7,229 x 10⁶
0,5	99,5	6,9645 x 10⁶

Lampiran 2. Penambahan Niobium Terhadap Kuat Tarik

% Tembaga (Cu)	% Niobium (Nb)	Kuat Tarik Tembaga – Niobium (MPa)
99,5	0,5	315,355
99	1	316,71
98,5	1,5	318,065
98	2	319,42
97,5	2,5	320,775
97	3	322,13
96,5	3,5	323,485
96	4	324,84
95,5	4,5	326,195
95	5	327,55
94,5	5,5	328,905
94	6	330,26
93,5	6,5	331,615
93	7	332,97
92,5	7,5	334,325

Universitas Indonesia

92	8	335,68
91,5	8,5	337,035
91	9	338,39
90,5	9,5	339,745
90	10	341,1
89,5	10,5	342,455
89	11	343,81
88,5	11,5	345,165
88	12	346,52
87,5	12,5	347,875
87	13	349,23
86,5	13,5	350,585
86	14	351,94
85,5	14,5	353,295
85	15	354,65
84,5	15,5	356,005
84	16	357,36
83,5	16,5	358,715
83	17	360,07
82,5	17,5	361,425
82	18	362,78
81,5	18,5	364,135
81	19	365,49
80,5	19,5	366,845
80	20	368,2
79,5	20,5	369,555
79	21	370,91
78,5	21,5	372,265
78	22	373,62
77,5	22,5	374,975
77	23	376,33
76,5	23,5	377,685
76	24	379,04
75,5	24,5	380,395
75	25	381,75
74,5	25,5	383,105
74	26	384,46
73,5	26,5	385,815
73	27	387,17
72,5	27,5	388,525
72	28	389,88
71,5	28,5	391,235
71	29	392,59
70,5	29,5	393,945
70	30	395,3
69,5	30,5	396,655

Universitas Indonesia

69	31	398,01
68,5	31,5	399,365
68	32	400,72
67,5	32,5	402,075
67	33	403,43
66,5	33,5	404,785
66	34	406,14
65,5	34,5	407,495
65	35	408,85
64,5	35,5	410,205
64	36	411,56
63,5	36,5	412,915
63	37	414,27
62,5	37,5	415,625
62	38	416,98
61,5	38,5	418,335
61	39	419,69
60,5	39,5	421,045
60	40	422,4
59,5	40,5	423,755
59	41	425,11
58,5	41,5	426,465
58	42	427,82
57,5	42,5	429,175
57	43	430,53
56,5	43,5	431,885
56	44	433,24
55,5	44,5	434,595
55	45	435,95
54,5	45,5	437,305
54	46	438,66
53,5	46,5	440,015
53	47	441,37
52,5	47,5	442,725
52	48	444,08
51,5	48,5	445,435
51	49	446,79
50,5	49,5	448,145
50	50	449,5
49,5	50,5	450,855
49	51	452,21
48,5	51,5	453,565
48	52	454,92
47,5	52,5	456,275
47	53	457,63
46,5	53,5	458,985

Universitas Indonesia

46	54	460,34
45,5	54,5	461,695
45	55	463,05
44,5	55,5	464,405
44	56	465,76
43,5	56,5	467,115
43	57	468,47
42,5	57,5	469,825
42	58	471,18
41,5	58,5	472,535
41	59	473,89
40,5	59,5	475,245
40	60	476,6
39,5	60,5	477,955
39	61	479,31
38,5	61,5	480,665
38	62	482,02
37,5	62,5	483,375
37	63	484,73
36,5	63,5	486,085
36	64	487,44
35,5	64,5	488,795
35	65	490,15
34,5	65,5	491,505
34	66	492,86
33,5	66,5	494,215
33	67	495,57
32,5	67,5	496,925
32	68	498,28
31,5	68,5	499,635
31	69	500,99
30,5	69,5	502,345
30	70	503,7
29,5	70,5	505,055
29	71	506,41
28,5	71,5	507,765
28	72	509,12
27,5	72,5	510,475
27	73	511,83
26,5	73,5	513,185
26	74	514,54
25,5	74,5	515,895
25	75	517,25
24,5	75,5	518,605
24	76	519,96
23,5	76,5	521,315

Universitas Indonesia

23	77	522,67
22,5	77,5	524,025
22	78	525,38
21,5	78,5	526,735
21	79	528,09
20,5	79,5	529,445
20	80	530,8
19,5	80,5	532,155
19	81	533,51
18,5	81,5	534,865
18	82	536,22
17,5	82,5	537,575
17	83	538,93
16,5	83,5	540,285
16	84	541,64
15,5	84,5	542,995
15	85	544,35
14,5	85,5	545,705
14	86	547,06
13,5	86,5	548,415
13	87	549,77
12,5	87,5	551,125
12	88	552,48
11,5	88,5	553,835
11	89	555,19
10,5	89,5	556,545
10	90	557,9
9,5	90,5	559,255
9	91	560,61
8,5	91,5	561,965
8	92	563,32
7,5	92,5	564,675
7	93	566,03
6,5	93,5	567,385
6	94	568,74
5,5	94,5	570,095
5	95	571,45
4,5	95,5	572,805
4	96	574,16
3,5	96,5	575,515
3	97	576,87
2,5	97,5	578,225
2	98	579,58
1,5	98,5	580,935
1	99	582,29
0,5	99,5	583,645

Lampiran 3. Regresi Linier dan Korelasi Konduktifitas dengan Kuat Tarik

Konduktifitas (X)	Kuat Tarik (Y)	(XY)	(X ²)	(Y ²)
59,3355 x 10 ⁶	315,355	18711746603	3520701560250000	99448,77603
59,071 x 10 ⁶	316,71	18708376410	3489383041000000	100305,2241
58,8065 x 10 ⁶	318,065	18704289423	3458204442250000	101165,3442
58,542 x 10 ⁶	319,42	18699485640	3427165764000000	102029,1364
58,2775 x 10 ⁶	320,775	18693965063	3396267006250000	102896,6006
58,013 x 10 ⁶	322,13	18687727690	3365508169000000	103767,7369
57,7485 x 10 ⁶	323,485	18680773523	3334889252250000	104642,5452
57,484 x 10 ⁶	324,84	18673102560	3304410256000000	105521,0256
57,2195 x 10 ⁶	326,195	18664714803	3274071180250000	106403,178
56,955 x 10 ⁶	327,55	18655610250	3243872025000000	107289,0025
56,6905 x 10 ⁶	328,905	18645788903	3213812790250000	108178,499
56,426 x 10 ⁶	330,26	18635250760	3183893476000000	109071,6676
56,1615 x 10 ⁶	331,615	18623995823	3154114082250000	109968,5082
55,897 x 10 ⁶	332,97	18612024090	3124474609000000	110869,0209
55,6325 x 10 ⁶	334,325	18599335563	3094975056250000	111773,2056
55,368 x 10 ⁶	335,68	18585930240	3065615424000000	112681,0624
55,1035 x 10 ⁶	337,035	18571808123	3036395712250000	113592,5912
54,839 x 10 ⁶	338,39	18556969210	3007315921000000	114507,7921
54,5745 x 10 ⁶	339,745	18541413503	2978376050250000	115426,665
54,31 x 10 ⁶	341,1	18525141000	2949576100000000	116349,21
54,0455 x 10 ⁶	342,455	18508151703	2920916070250000	117275,427
53,781 x 10 ⁶	343,81	18490445610	2892395961000000	118205,3161
53,5165 x 10 ⁶	345,165	18472022723	2864015772250000	119138,8772
53,252 x 10 ⁶	346,52	18452883040	2835775504000000	120076,1104
52,9875 x 10 ⁶	347,875	18433026563	2807675156250000	121017,0156
52,723 x 10 ⁶	349,23	18412453290	2779714729000000	121961,5929
52,4585 x 10 ⁶	350,585	18391163223	2751894222250000	122909,8422
52,194 x 10 ⁶	351,94	18369156360	2724213636000000	123861,7636
51,9295 x 10 ⁶	353,295	18346432703	2696672970250000	124817,357
51,665 x 10 ⁶	354,65	18322992250	2669272225000000	125776,6225
51,4005 x 10 ⁶	356,005	18298835003	2642011400250000	126739,56
51,136 x 10 ⁶	357,36	18273960960	2614890496000000	127706,1696
50,8715 x 10 ⁶	358,715	18248370123	2587909512250000	128676,4512
50,607 x 10 ⁶	360,07	18222062490	2561068449000000	129650,4049
50,3425 x 10 ⁶	361,425	18195038063	2534367306250000	130628,0306
50,078 x 10 ⁶	362,78	18167296840	2507806084000000	131609,3284
49,8135 x 10 ⁶	364,135	18138838823	2481384782250000	132594,2982
49,549 x 10 ⁶	365,49	18109664010	2455103401000000	133582,9401
49,2845 x 10 ⁶	366,845	18079772403	2428961940250000	134575,254
49,02 x 10 ⁶	368,2	18049164000	2402960400000000	135571,24
48,7555 x 10 ⁶	369,555	18017838803	2377098780250000	136570,898
48,491 x 10 ⁶	370,91	17985796810	2351377081000000	137574,2281

48,2265 x 10 ⁶	372,265	17953038023	2325795302250000	138581,2302
47,962 x 10 ⁶	373,62	17919562440	2300353444000000	139591,9044
47,6975 x 10 ⁶	374,975	17885370063	2275051506250000	140606,2506
47,433 x 10 ⁶	376,33	17850460890	2249889489000000	141624,2689
47,1685 x 10 ⁶	377,685	17814834923	2224867392250000	142645,9592
46,904 x 10 ⁶	379,04	17778492160	2199985216000000	143671,3216
46,6395 x 10 ⁶	380,395	17741432603	2175242960250000	144700,356
46,375 x 10 ⁶	381,75	17703656250	2150640625000000	145733,0625
46,1105 x 10 ⁶	383,105	17665163103	2126178210250000	146769,441
45,846 x 10 ⁶	384,46	17625953160	2101855716000000	147809,4916
45,5815 x 10 ⁶	385,815	17586026423	2077673142250000	148853,2142
45,317 x 10 ⁶	387,17	17545382890	2053630489000000	149900,6089
45,0525 x 10 ⁶	388,525	17504022563	2029727756250000	150951,6756
44,788 x 10 ⁶	389,88	17461945440	2005964944000000	152006,4144
44,5235 x 10 ⁶	391,235	17419151523	1982342052250000	153064,8252
44,259 x 10 ⁶	392,59	17375640810	1958859081000000	154126,9081
43,9945 x 10 ⁶	393,945	17331413303	1935516030250000	155192,663
43,73 x 10 ⁶	395,3	17286469000	1912312900000000	156262,09
43,4655 x 10 ⁶	396,655	17240807903	1889249690250000	157335,189
43,201 x 10 ⁶	398,01	17194430010	1866326401000000	158411,9601
42,9365 x 10 ⁶	399,365	17147335323	1843543032250000	159492,4032
42,672 x 10 ⁶	400,72	17099523840	1820899584000000	160576,5184
42,4075 x 10 ⁶	402,075	17050995563	1798396056250000	161664,3056
42,143 x 10 ⁶	403,43	17001750490	1776032449000000	162755,7649
41,8785 x 10 ⁶	404,785	16951788623	1753808762250000	163850,8962
41,614 x 10 ⁶	406,14	16901109960	1731724996000000	164949,6996
41,3495 x 10 ⁶	407,495	16849714503	1709781150250000	166052,175
41,085 x 10 ⁶	408,85	16797602250	1687977225000000	167158,3225
40,8205 x 10 ⁶	410,205	16744773203	1666313220250000	168268,142
40,556 x 10 ⁶	411,56	16691227360	1644789136000000	169381,6336
40,2915 x 10 ⁶	412,915	16636964723	1623404972250000	170498,7972
40,027 x 10 ⁶	414,27	16581985290	1602160729000000	171619,6329
39,7625 x 10 ⁶	415,625	16526289063	1581056406250000	172744,1406
39,498 x 10 ⁶	416,98	16469876040	1560092004000000	173872,3204
39,2335 x 10 ⁶	418,335	16412746223	1539267522250000	175004,1722
38,969 x 10 ⁶	419,69	16354899610	1518582961000000	176139,6961
38,7045 x 10 ⁶	421,045	16296336203	1498038320250000	177278,892
38,44 x 10 ⁶	422,4	16237056000	1477633600000000	178421,76
38,1755 x 10 ⁶	423,755	16177059003	1457368800250000	179568,3
37,911 x 10 ⁶	425,11	16116345210	1437243921000000	180718,5121
37,6465 x 10 ⁶	426,465	16054914623	1417258962250000	181872,3962
37,382 x 10 ⁶	427,82	15992767240	1397413924000000	183029,9524
37,1175 x 10 ⁶	429,175	15929903063	1377708806250000	184191,1806
36,853 x 10 ⁶	430,53	15866322090	1358143609000000	185356,0809
36,5885 x 10 ⁶	431,885	15802024323	1338718332250000	186524,6532
36,324 x 10 ⁶	433,24	15737009760	1319432976000000	187696,8976

36,0595 x 10 ⁶	434,595	15671278403	1300287540250000	188872,814
35,795 x 10 ⁶	435,95	15604830250	1281282025000000	190052,4025
35,5305 x 10 ⁶	437,305	15537665303	1262416430250000	191235,663
35,266 x 10 ⁶	438,66	15469783560	1243690756000000	192422,5956
35,0015 x 10 ⁶	440,015	15401185023	1225105002250000	193613,2002
34,737 x 10 ⁶	441,37	15331869690	1206659169000000	194807,4769
34,4725 x 10 ⁶	442,725	15261837563	1188353256250000	196005,4256
34,208 x 10 ⁶	444,08	15191088640	1170187264000000	197207,0464
33,9435 x 10 ⁶	445,435	15119622923	1152161192250000	198412,3392
33,679 x 10 ⁶	446,79	15047440410	1134275041000000	199621,3041
33,4145 x 10 ⁶	448,145	14974541103	1116528810250000	200833,941
33,15 x 10 ⁶	449,5	14900925000	1098922500000000	202050,25
32,8855 x 10 ⁶	450,855	14826592103	1081456110250000	203270,231
32,621 x 10 ⁶	452,21	14751542410	1064129641000000	204493,8841
32,3565 x 10 ⁶	453,565	14675775923	1046943092250000	205721,2092
32,092 x 10 ⁶	454,92	14599292640	1029896464000000	206952,2064
31,8275 x 10 ⁶	456,275	14522092563	1012989756250000	208186,8756
31,563 x 10 ⁶	457,63	14444175690	996222969000000	209425,2169
31,2985 x 10 ⁶	458,985	14365542023	979596102250000	210667,2302
31,034 x 10 ⁶	460,34	14286191560	963109156000000	211912,9156
30,7695 x 10 ⁶	461,695	14206124303	946762130250000	213162,273
30,505 x 10 ⁶	463,05	14125340250	930555025000000	214415,3025
30,2405 x 10 ⁶	464,405	14043839403	914487840250000	215672,004
29,976 x 10 ⁶	465,76	13961621760	898560576000000	216932,3776
29,7115 x 10 ⁶	467,115	13878687323	882773232250000	218196,4232
29,447 x 10 ⁶	468,47	13795036090	867125809000000	219464,1409
29,1825 x 10 ⁶	469,825	13710668063	851618306250000	220735,5306
28,918 x 10 ⁶	471,18	13625583240	836250724000000	222010,5924
28,6535 x 10 ⁶	472,535	13539781623	821023062250000	223289,3262
28,389 x 10 ⁶	473,89	13453263210	805935321000000	224571,7321
28,1245 x 10 ⁶	475,245	13366028003	790987500250000	225857,81
27,86 x 10 ⁶	476,6	13278076000	776179600000000	227147,56
27,5955 x 10 ⁶	477,955	13189407203	761511620250000	228440,982
27,331 x 10 ⁶	479,31	13100021610	746983561000000	229738,0761
27,0665 x 10 ⁶	480,665	13009919223	732595422250000	231038,8422
26,802 x 10 ⁶	482,02	12919100040	718347204000000	232343,2804
26,5375 x 10 ⁶	483,375	12827564063	704238906250000	233651,3906
26,273 x 10 ⁶	484,73	12735311290	690270529000000	234963,1729
26,0085 x 10 ⁶	486,085	12642341723	676442072250000	236278,6272
25,744 x 10 ⁶	487,44	12548655360	662753536000000	237597,7536
25,4795 x 10 ⁶	488,795	12454252203	649204920250000	238920,552
25,215 x 10 ⁶	490,15	12359132250	635796225000000	240247,0225
24,9505 x 10 ⁶	491,505	12263295503	622527450250000	241577,165
24,686 x 10 ⁶	492,86	12166741960	609398596000000	242910,9796
24,4215 x 10 ⁶	494,215	12069471623	596409662250000	244248,4662
24,157 x 10 ⁶	495,57	11971484490	583560649000000	245589,6249

23,8925 x 10 ⁶	496,925	11872780563	570851556250000	246934,4556
23,628 x 10 ⁶	498,28	11773359840	558282384000000	248282,9584
23,3635 x 10 ⁶	499,635	11673222323	545853132250000	249635,1332
23,099 x 10 ⁶	500,99	11572368010	533563801000000	250990,9801
22,8345 x 10 ⁶	502,345	11470796903	521414390250000	252350,499
22,57 x 10 ⁶	503,7	11368509000	509404900000000	253713,69
22,3055 x 10 ⁶	505,055	11265504303	497535330250000	255080,553
22,041 x 10 ⁶	506,41	11161782810	485805681000000	256451,0881
21,7765 x 10 ⁶	507,765	11057344523	474215952250000	257825,2952
21,512 x 10 ⁶	509,12	10952189440	462766144000000	259203,1744
21,2475 x 10 ⁶	510,475	10846317563	451456256250000	260584,7256
20,983 x 10 ⁶	511,83	10739728890	440286289000000	261969,9489
20,7185 x 10 ⁶	513,185	10632423423	429256242250000	263358,8442
20,454 x 10 ⁶	514,54	10524401160	418366116000000	264751,4116
20,1895 x 10 ⁶	515,895	10415662103	407615910250000	266147,651
19,925 x 10 ⁶	517,25	10306206250	397005625000000	267547,5625
19,6605 x 10 ⁶	518,605	10196033603	386535260250000	268951,146
19,396 x 10 ⁶	519,96	10085144160	376204816000000	270358,4016
19,1315 x 10 ⁶	521,315	9973537923	366014292250000	271769,3292
18,867 x 10 ⁶	522,67	9861214890	355963689000000	273183,9289
18,6025 x 10 ⁶	524,025	9748175063	346053006250000	274602,2006
18,338 x 10 ⁶	525,38	9634418440	336282244000000	276024,1444
18,0735 x 10 ⁶	526,735	9519945023	326651402250000	277449,7602
17,809 x 10 ⁶	528,09	9404754810	317160481000000	278879,0481
17,5445 x 10 ⁶	529,445	9288847803	307809480250000	280312,008
17,28 x 10 ⁶	530,8	9172224000	298598400000000	281748,64
17,0155 x 10 ⁶	532,155	9054883403	289527240250000	283188,944
16,751 x 10 ⁶	533,51	8936826010	280596001000000	284632,9201
16,4865 x 10 ⁶	534,865	8818051823	271804682250000	286080,5682
16,222 x 10 ⁶	536,22	8698560840	263153284000000	287531,8884
15,9575 x 10 ⁶	537,575	8578353063	254641806250000	288986,8806
15,693 x 10 ⁶	538,93	8457428490	246270249000000	290445,5449
15,4285 x 10 ⁶	540,285	8335787123	238038612250000	291907,8812
15,164 x 10 ⁶	541,64	8213428960	229946896000000	293373,8896
14,8995 x 10 ⁶	542,995	8090354003	221995100250000	294843,57
14,635 x 10 ⁶	544,35	7966562250	214183225000000	296316,9225
14,3705 x 10 ⁶	545,705	7842053703	206511270250000	297793,947
14,106 x 10 ⁶	547,06	7716828360	198979236000000	299274,6436
13,8415 x 10 ⁶	548,415	7590886223	191587122250000	300759,0122
13,577 x 10 ⁶	549,77	7464227290	184334929000000	302247,0529
13,3125 x 10 ⁶	551,125	7336851563	177222656250000	303738,7656
13,048 x 10 ⁶	552,48	7208759040	170250304000000	305234,1504
12,7835 x 10 ⁶	553,835	7079949723	163417872250000	306733,2072
12,519 x 10 ⁶	555,19	6950423610	156725361000000	308235,9361
12,2545 x 10 ⁶	556,545	6820180703	150172770250000	309742,337
11,99 x 10 ⁶	557,9	6689221000	143760100000000	311252,41

$11,7255 \times 10^6$	559,255	6557544503	137487350250000	312766,155
$11,461 \times 10^6$	560,61	6425151210	131354521000000	314283,5721
$11,1965 \times 10^6$	561,965	6292041123	125361612250000	315804,6612
$10,932 \times 10^6$	563,32	6158214240	119508624000000	317329,4224
$10,6675 \times 10^6$	564,675	6023670563	113795556250000	318857,8556
$10,403 \times 10^6$	566,03	5888410090	108222409000000	320389,9609
$10,1385 \times 10^6$	567,385	5752432823	102789182250000	321925,7382
$9,874 \times 10^6$	568,74	5615738760	97495876000000	323465,1876
$9,6095 \times 10^6$	570,095	5478327903	92342490250000	325008,309
$9,345 \times 10^6$	571,45	5340200250	87329025000000	326555,1025
$9,0805 \times 10^6$	572,805	5201355803	82455480250000	328105,568
$8,816 \times 10^6$	574,16	5061794560	77721856000000	329659,7056
$8,5515 \times 10^6$	575,515	4921516523	73128152250000	331217,5152
$8,287 \times 10^6$	576,87	4780521690	68674369000000	332778,9969
8,0225	578,225	4638810063	64360506250000	334344,1506
$7,758 \times 10^6$	579,58	4496381640	60186564000000	335912,9764
$7,4935 \times 10^6$	580,935	4353236423	56152542250000	337485,4742
$7,229 \times 10^6$	582,29	4209374410	52258441000000	339061,6441
$6,9645 \times 10^6$	583,645	4064795603	48504260250000	340641,486
$\Sigma =$ 6596850000	$\Sigma =$ 89450,5	$\Sigma =$ 2729924436750	$\Sigma =$ 264628473675000000	$\Sigma =$ 41413717,37

Lampiran 4. Kode Program Perhitungan Konduktifitas

```
Private Sub Command1_Click()
Text3.Text = (Text1.Text / 100) * (59600000) + (Text2.Text / 100) * (6700000)
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
OLE1.Update
OLE2.Update
End Sub
```

Lampiran 5. Kode Program Perhitungan Kuat Tarik

```
Private Sub Command1_Click()
Text3.Text = (Text1.Text / 100) * (314) + (Text2.Text / 100) * (585)
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
OLE1.Update
OLE2.Update
End Sub
```

Lampiran 6. Kode Program Regresi Linier Konduktifitas dengan Kuat Tarik

```

Sub Main()
    Dim strResults As String
    Dim Test(1 To 4) As Double
    Dim Results(1 To 4) As Double
    Test(1) = 281.28
    Test(2) = 277.44
    Test(3) = 269.33
    Test(4) = 266.25
    Call LinearRegression(Test, Results)
    strResults = "Slope: " & Results(1) & vbCrLf & _
        "Intercept: " & Results(2) & vbCrLf & _
        "Forecast: " & Results(3) & vbCrLf & _
        "R-Squared: " & Results(4)
    MsgBox strResults, vbInformation, "Linear Regression"
End Sub

Public Function LinearRegression(ByRef Values() As Double, _
    ByRef ResultsCopyTo() As Double)
    Dim X As Integer
    Dim Y() As Double
    Dim intLoop As Integer
    Dim n As Integer
    Dim q1 As Double
    Dim q2 As Double
    Dim q3 As Double
    Dim XY As Double
    Dim XSquared As Double
    Dim YSquared As Double
    Dim XSum As Double
    Dim YSum As Double
    Dim XSquaredSum As Double
    Dim YSquaredSum As Double
    Dim XYSum As Double
    X = UBound(Values)
    ReDim Y(1 To X) As Double
    For intLoop = 1 To X
        Y(intLoop) = Values(intLoop) 'Copy values to X
    Next intLoop
    For intLoop = 1 To X
        XSum = XSum + intLoop
        YSum = YSum + Y(intLoop)
        XSquaredSum = XSquaredSum + (intLoop * intLoop)
        YSquaredSum = YSquaredSum + (Y(intLoop) * Y(intLoop))
        XYSum = XYSum + (Y(intLoop) * intLoop)
    Next intLoop
    n = X 'Number of periods in calculation
    q1 = (XYSum - ((XSum * YSum) / n))

```

```

q2 = (XSquaredSum - ((XSum * XSum) / n))
q3 = (YSquaredSum - ((YSum * YSum) / n))
ResultsCopyTo(1) = (q1 / q2) ' = (0.1 * (XYSum - (3 * YSum))) 'Slope
ResultsCopyTo(2) = (YSum - ResultsCopyTo(1) * XSum) / n 'Intercept
ResultsCopyTo(3) = (((n + 1) * ResultsCopyTo(1)) + ResultsCopyTo(2))
'Forecast
ResultsCopyTo(4) = (q1 * q1) / (q2 * q3) 'Coefficient of determination (R-Squared)
End Function

```

Lampiran 7. Kode Program Korelasi Konduktifitas dengan Kuat Tarik

```

Private Sub Command1_Click()
CalculateCorrelationCoefficient
End Sub

Private Sub CalculateCorrelationCoefficient()
Dim i As Integer
Dim Weightfactor As Integer

Weightfactor = 0 'equal weighting

ReDim RawData(4, 1)
For i = 0 To 4
RawData(i, 0) = Val(txtDataX(i).Text)
RawData(i, 1) = Val(txtDataY(i).Text)
If Option1(i).Value = True Then Weightfactor = i
Next i

Text1.Text = CorrelationCoefficient(RawData, , , Weightfactor)

End Sub

Private Sub Form_Load()
OLE1.Update
Dim i As Integer

For i = 0 To 4
txtDataX(i).Text = i + 1
txtDataY(i).Text = i + Round(Rnd(i), 2)
Next i

Option1(0).Value = True 'equal weightfactor

End Sub

Option Explicit

```

Option Base 0

Public RawData() As Double

Public Function CorrelationCoefficient(MyArray() As Double, Optional asX As Integer = -1, _
Optional asY As Integer = -1, Optional asWeight As Integer = 0) As Double

Dim i As Integer
Dim SumX As Double
Dim SumX2 As Double
Dim SumY As Double
Dim SumY2 As Double
Dim SumXY As Double
Dim SumW As Double
Dim Weight As Double
Dim Numerator As Double
Dim Denominator As Double

On Error GoTo ErrHandler_CorCoef

'can correlation coefficient be calculated?

If MultiDimensional(MyArray) = True And UBound(MyArray, 1) > 1 Then

'correct weightfactor?

If asWeight < 0 Then asWeight = 0

If asWeight > 4 Then asWeight = 0

'initialise

SumX = 0

SumX2 = 0

SumY = 0

SumY2 = 0

SumXY = 0

SumW = 0

'determine which columns need to be correlated

If asX < 0 Then asX = 0

If asX > UBound(MyArray, 2) Then asX = 0

If asY < 0 Then asY = 1

If asY > UBound(MyArray, 2) Then asY = 1

'calculate SumX, SumX2, SumY, SumY2 and SumXY

For i = 0 To UBound(MyArray, 1)

Select Case asWeight

Case 0 'equal weighting

```

    Weight = 1
Case 1 '1/x
  If MyArray(i, asX) <> 0 Then
    Weight = Abs(1 / MyArray(i, asX))
  Else
    Weight = 1 'discutable
  End If
Case 2 '1/x^2
  If (MyArray(i, asX) * MyArray(i, asX)) <> 0 Then
    Weight = Abs(1 / (MyArray(i, asX) * MyArray(i, asX)))
  Else
    Weight = 1 'discutable
  End If
Case 3 '1/y
  If MyArray(i, asY) <> 0 Then
    Weight = Abs(1 / MyArray(i, asY))
  Else
    Weight = 1 'discutable
  End If
Case 4 '1/y^2
  If (MyArray(i, asY) * MyArray(i, asY)) <> 0 Then
    Weight = Abs(1 / (MyArray(i, asY) * MyArray(i, asY)))
  Else
    Weight = 1 'discutable
  End If
End Select
SumX = SumX + MyArray(i, asX) * Weight
SumX2 = SumX2 + MyArray(i, asX) * MyArray(i, asX) * Weight
SumY = SumY + MyArray(i, asY) * Weight
SumY2 = SumY2 + MyArray(i, asY) * MyArray(i, asY) * Weight
SumXY = SumXY + MyArray(i, asX) * MyArray(i, asY) * Weight
SumW = SumW + Weight
Next i

'calculate Numerator and Denominator from correlation coefficient
Numerator = SumXY - (SumX * SumY / SumW)
Denominator = Sqr((SumX2 - SumX * SumX / SumW) * (SumY2 - SumY *
SumY / SumW))

If Denominator <> 0 Then
  CorrelationCoefficient = Numerator / Denominator
Else
  '
End If

Else

CorrelationCoefficient = 99 'error value

```

End If

Exit Function

ErrorHandler_CorCoef:

MsgBox "Error in module CorrelationCoefficient!", vbOKOnly &
vbExclamation, "Attention!"

End Function

Private Function MultiDimensional(CheckArray() As Double) As Boolean

On Error GoTo ErrorHandler_MultiDimensional

If UBound(CheckArray, 2) > 0 Then

MultiDimensional = True 'more than 1 dimension

End If

Exit Function

ErrorHandler_MultiDimensional:

MultiDimensional = False '1 deminsion

End Function

**Lampiran 8. Kode Program Grafik Persamaan Garis Linier Konduktifitas
dengan Kuat Tarik**

Private Sub Form_Load()

OLE1.Update

OLE2.Update

End Sub