

## Metode Pengukuran Resistivitas Logam Tipis dengan Identifikasi Ukuran Sampel menggunakan *Image Processing*

Vandri Ahmad Isnaini<sup>1</sup>✉, Rahmi Putri Wirman<sup>1</sup>, Hayyu Salma<sup>1</sup>, dan Shabri Putra Wirman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sulthan Thaha Saifuddin Jambi, Indonesia

<sup>2</sup>Stasiun Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Muhammadiyah Riau, Indonesia

### Info Artikel

Sejarah Artikel:  
Diterima:  
15 Agustus 2020  
Disetujui:  
23 Desember 2020  
Dipublikasikan:  
28 Desember 2020

**Keywords:**  
*Analysis of accuracy level, resistivity, thin metal, method development.*

### ABSTRAK

Pengukuran nilai resistivitas logam tipis dengan identifikasi ukuran sampel menggunakan *image processing* telah dilakukan. Metode penentuan ukuran sampel yang dilakukan adalah dengan cara *image processing* dan manual sebagai pembanding. Analisis data hasil pengukuran dilakukan untuk melihat tingkat akurasi pada metode ini. Sampel yang diukur adalah logam tipis berbahan dasar variasi kandungan Nikel Kobalt (NiCo). Hasil percobaan didapatkan bahwa metode ini bekerja dengan baik pada pengukuran sampel ukuran kecil dan tipis. Metode ini juga memberikan data resistivitas yang akurat, dengan deviasi data yang kecil dibandingkan dengan data pengukuran secara manual. Hasil resistivitas sampel dengan pengukuran *image processing* memiliki pola perubahan nilai yang teratur sesuai dengan meningkatnya kadar Kobalt, menuju ke arah nilai resistivitas Co murni yaitu sebesar 6,23  $\mu\Omega$  cm dengan persen error pengukuran sebesar 1,47%. Pola yang dihasilkan dari hasil pengukuran metode ini dapat memberikan gambaran tentang pengaruh resistivitas terhadap variasi komposisi bahan dasar logam tipis.

### ABSTRACT

*Determining and analyzing the resistivity value of thin metal by identifying sample sizes using image processing method has been conducted. Measurement methods of the sample size used are image processing and manual as a comparison. Analysis of experimental data was performed to see the level of accuracy in this method. The sample measured was a thin metal of Cobalt Nickel (NiCo)-based. From the experimental results, it was found that this method work satisfied, even though it was used for tiny and thin sample measurements. This method also provides resistivity value with accurate and a small data deviation compared to manual method. The result of sample resistivity by image processing measurement method has a pattern with a regular change in value according to the increasing level of Cobalt, leads to resistivity value of pure Co: 6.23  $\mu\Omega$  cm, with the percent error of measurement: 1,47%. The pattern of data resulting from this tool can provide a conclusion about the changes behavior of resistivity due to composition variations of thin metal base material.*

## PENDAHULUAN

Parameter atau karakteristik fisika dari bahan adalah salah satu poin yang sangat penting bagi teknologi bahan. Banyak parameter yang menentukan karakteristik dari suatu bahan, secara garis besar ada dua parameter penentu yaitu parameter fisika dan parameter kimia. Parameter fisika pada bahan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu warna/sifat optis, sifat thermal, sifat magnetik, sifat elektris, dan sifat mekanik (White, 2012). Ketelitian di dalam melakukan eksperimen identifikasi sampel merupakan hal yang perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil pengukuran dan analisis yang akurat. Pada saat ini, penentuan karakteristik material sudah bisa mengidentifikasi material berukuran sangat kecil, contohnya logam tipis yang merupakan salah satu produk penumbuhan pada eksperimen nanomaterial. Pada umumnya, penumbuhan logam tipis adalah suatu proses yang dilakukan untuk meningkatkan kemampuan dan memperkecil ukuran dari bahan dasar. Beberapa parameter yang dimodifikasi melalui proses penumbuhan logam tipis adalah perubahan parameter transmisi, refleksi, penyerapan, kekuatan, ketahanan abrasi, korosi, permeabilitas, dan sifat listriknya (Frey & Khan, 2015).

Sifat listrik dari suatu bahan adalah salah satu parameter yang perlu diketahui, terutama jika bahan ini digunakan untuk pembuatan komponen elektronika. Sifat listrik bahan dipengaruhi oleh kemampuan elektron untuk melewati bahan tersebut. Sifat listrik bahan dapat berupa konduktif yang bisa menghantarkan arus listrik dan bisa bersifat resistif yang dapat menghambat arus listrik. Kemampuan bahan untuk menghantarkan listrik ditentukan oleh jenis bahan, seperti logam merupakan jenis bahan yang bersifat konduktif. Namun ada beberapa bahan yang bisa berubah-ubah sifat listriknya tergantung perubahan faktor luar seperti temperatur, sifat unik ini dimiliki oleh bahan berjenis semikonduktor (Wismann & Finzel, 2007). Pada suhu ruang, semikonduktor memiliki rentang resistivitas sebesar 1,5 sampai 150  $\mu\Omega$ . Semikonduktor juga akan mengalami perubahan tingkat resistivitas apabila ditambahkan katalis/pengotor (Meaden, 1965). Resistivitas listrik dari suatu bahan merupakan variabel penting untuk menentukan sifat dari bahan. Pada bahan semikonduktor nilai resistivitas dapat menentukan sifat resistansi, kapasitansi, tegangan ambang, dan degradasi hantaran panas bahan (Dieter K Schroder, 2015). Dan ada faktor-faktor yang bisa mengubah nilai resistivitas dari suatu bahan, yaitu ketebalan dan temperatur bahan, analisis pengaruh faktor tersebut dapat dilihat pada penelitian Schmiedl dkk pada *ultra-thin copper film* (Ernst Schmiedl, Peter Wissmann, 2014).

Pada penelitian ini dibahas proses penentuan tingkat resistivitas suatu sampel logam tipis untuk menentukan sifat listrik bahan. Penentuan parameter resistivitas bahan ini harus dilakukan dengan sangat teliti, terutama dalam identifikasi ukuran dari sampel logam tipis yang sangat kecil atau bentuk sampel yang acak/tidak simetris. Dari pengalaman eksperimen, salah satu penyebab ketidakakuratan pengukuran resistivitas bahan dipengaruhi oleh proses identifikasi ukuran sampel. Alat ukur konvensional seperti jangka sorong atau mikrometer sekrup dan pengamatan secara visual (mata manusia) memiliki kelemahan pada proses identifikasi ukuran sampel kecil. Sehingga, peneliti mendapatkan nilai pengukuran resistivitas bahan yang berbeda-beda pada tiap pengulangan pengukuran (terjadi deviasi data). Contohnya pada penelitian Singh dan Pandey yang meneliti tentang pengembangan alat ukur dan penentuan nilai resistivitas dari sampel Nikel (Ni),  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  (LSMO), dan  $\text{LaCoO}_3$  (LCO) pada temperatur 300-600 K. Pada eksperimen ini menunjukkan bahwa terdapat deviasi hasil pengukuran resistivitas dari Ni, percobaan pertama dengan kondisi temperatur 500 K mendapatkan deviasi data pengukuran sebesar 0.67  $\mu\text{cm}$ , percobaan kedua dengan kondisi temperatur yang sama mendapatkan deviasi data pengukuran sebesar 0.72  $\mu\text{cm}$  (Singh & Pandey, 2018).

Pada penelitian ini digunakan metode *image processing* dalam identifikasi ukuran sampel untuk mendapatkan pengukuran nilai resistivitas yang akurat, biaya murah, dan mudah dilakukan. Metode *image processing* adalah metode yang sangat akurat dan cepat dalam mengidentifikasi sebuah benda, terutama sangat membantu pada sampel yang bentuknya tidak simetris, tidak beraturan, atau terdapat cacat sampel (fraktur). Kelebihan *image processing* dalam mendeteksi objek membuat metode ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti: otomatisasi identifikasi produk pada industri, identifikasi gambar biomedikal, *tracking* benda yang bergerak pada *Closed Circuit Television* (CCTV), analisis pemetaan, maupun untuk bidang pertahanan (Acharya & Ray, Ajoy, 2005). Saat ini sudah ada mikroskop yang sudah bisa mendeteksi dan menganalisa ukuran sampel, contohnya adalah Axio Observer buatan Zeiss yang telah memiliki AI Sample Finder ([www.zeiss.com](http://www.zeiss.com), 2020), namun mikroskop ini memiliki harga yang tinggi sehingga hanya lembaga tertentu yang mempunyai alat ini. Pada penelitian ini mencoba menggunakan metode yang mudah dengan instrumen yang murah untuk penentuan ukuran sampel dengan akurat pada perhitungan nilai resistivitas suatu bahan.

## METODE

Resistivitas suatu bahan dibahas oleh Hukum Ohm, dimana medan listrik ( $E$ ) adalah beda potensial ( $V$ ) yang diaplikasikan pada suatu material dari titik satu ke titik yang lain sepanjang ( $L$ ). Dan  $a$  didefinisikan sebagai percepatan dari elektron,  $e$  adalah muatan elektron dan  $m$  adalah massa dari elektron. Sifat ini dapat digambarkan dengan persamaan  $V = E \cdot l$  dan  $a = (e/m)E$ . Proses pergerakan elektron dalam bahan dapat dianalisis dengan melihat penyebaran elektron di bidang konduksi antara suatu titik partikel dengan titik partikel yang lain (Rossiter, Paul, 2003). Kecepatan rata-rata sebuah elektron untuk melewati antara satu partikel dengan partikel yang lain adalah  $v_{rata-rata} = a\tau$ , dengan  $\tau$  adalah waktu rata-rata aktual tumbukan elektron antara dua partikel. Sehingga kecepatan elektron merambat dalam suatu bahan dapat dirumuskan pada Persamaan 1 (Solymar dkk., 2014).

$$v = \left(\frac{e}{m}\tau\right)E \quad (1)$$

Eksperimen Hukum Ohm pada suhu ruang menunjukkan rasio antara densitas arus ( $J$ ) dengan medan listrik ( $E$ ) bernilai konstan, ditunjukkan dengan persamaan  $J/E = 1/\rho$  atau  $J/E = \tau$  dengan  $\rho$  adalah nilai resistivitas dan  $\tau$  adalah nilai konduktivitas. Medan listrik dirumuskan sebagai  $E = V/l$  dan densitas arus dirumuskan sebagai  $J = I/A$  (Meaden, 1965). Nilai resistivitas listrik pada zat padat dapat digambarkan sebagai jumlah arus ( $I$ ) yang mengalir pada sampel memotong daerah luasan ( $A$ ). Nilai resistansi ( $R$ ) dirumuskan oleh Persamaan 2.

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (2)$$

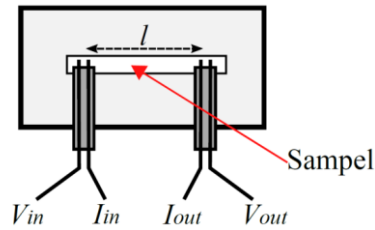
Sehingga nilai resistivitas ( $\rho$ ) suatu bahan dirumuskan seperti ditunjukkan oleh Persamaan 3 (Rossiter, Paul, 2003).

$$\rho = \frac{VA}{Il} \quad (3)$$

Satuan resistivitas adalah  $\Omega cm^2$  untuk sampel dalam bentuk luasan dan  $\Omega cm$  untuk sampel dalam bentuk lembaran (*strip*), sedangkan satuan dari resistansi adalah ohm ( $\Omega$ ). Persamaan 3 ini digunakan pada penentuan resistivitas sampel logam tipis pada eksperimen.

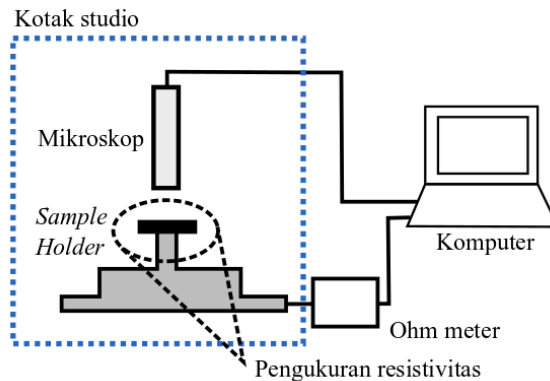
Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen dan hasilnya dianalisis melalui beberapa tahapan. Metode penentuan ukuran sampel dilakukan dengan cara manual dan *image processing*. Metode manual dilakukan dengan menggunakan jangka sorong dan mikrometer sekrup. Sedangkan untuk metode *image processing* menggunakan alat eksperimen. Alat ukur resistivitas bahan yang

digunakan adalah alat yang telah dirancang dan dikembangkan pada rangkaian proses penelitian sebelumnya. Alat ukur resistivitas sampel logam tipis terdiri dari tatakan sampel (*sample holder*) sebagai pengukuran nilai resistansi dari bahan.



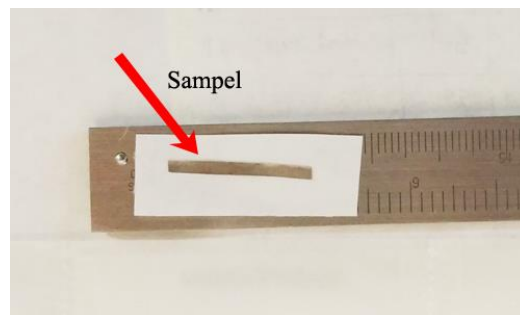
Gambar 1. Skema dari tatakan sampel (*sample holder*)

Tatakan sampel merupakan sebuah perangkat pengukuran yang terdiri dari empat buah tip (konektor) yang dihubungkan pada mikro ohmmeter, skema tatakan sampel dapat dilihat pada Gambar 1. Tatakan sampel dibuat dengan *plexiglass* sebagai basis dan tip terbuat dari bahan tembaga sebagai alat ukur tegangan dan arus pada sampel. Dua tip konektor merupakan alat ukur tegangan listrik dan dua tip konektor lagi mengukur arus yang melalui sampel tersebut. Data tegangan dan arus dicatat dari empat tip ini kemudian dikalkulasi oleh alat menjadi nilai resistansi dari bahan. Nilai resistansi bahan yang terukur pada sebuah bahan dengan luasan ( $A$ ) dan panjang ( $l$ ), dapat dikalkulasikan menjadi sebuah nilai resistivitas bahan sampel tersebut.



Gambar 2. Skema perangkat alat ukur resistivitas logam tipis dengan metode *image processing*

Identifikasi ukuran sampel menggunakan mikroskop digital yang bisa melakukan perbesaran optik saat mendeteksi sampel kecil. Mikroskop digital terhubung dengan komputer dan hasil gambar identifikasi dianalisis menggunakan software *image processing* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 3. Sampel logam tipis Nikel Kobalt yang digunakan pada eksperimen

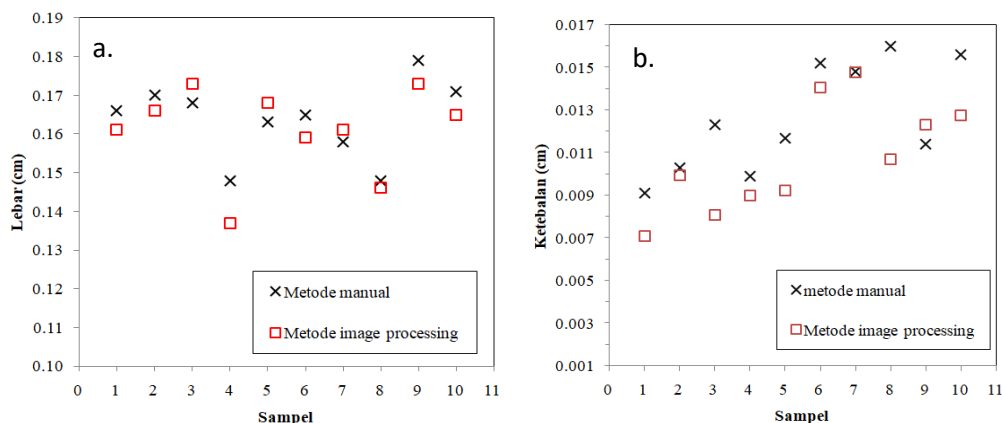
Sampel yang digunakan pada eksperimen ini adalah logam tipis berbentuk lembaran plat dengan variasi komposisi bahan dasar penyusun, yaitu Nikel dan Kobalt seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Sampel dibuat dengan bentuk persegi panjang dan terdiri dari 10 variasi jumlah komposisi penyusun sampel. Untuk akurasi data, pengukuran nilai resistansi dan identifikasi ukuran sampel dilakukan sebanyak 10 kali disetiap masing-masing sampel.

Tabel 1. Variasi sampel logam tipis Nikel Kobalt

Nama Sampel	Kandungan Nikel (%)	Kandungan Kobalt (%)
1	80	20
2	75	25
3	70	30
4	65	35
5	60	40
6	55	45
7	50	50
8	45	55
9	40	60
10	35	65

### HASIL DAN PEMBAHASAN

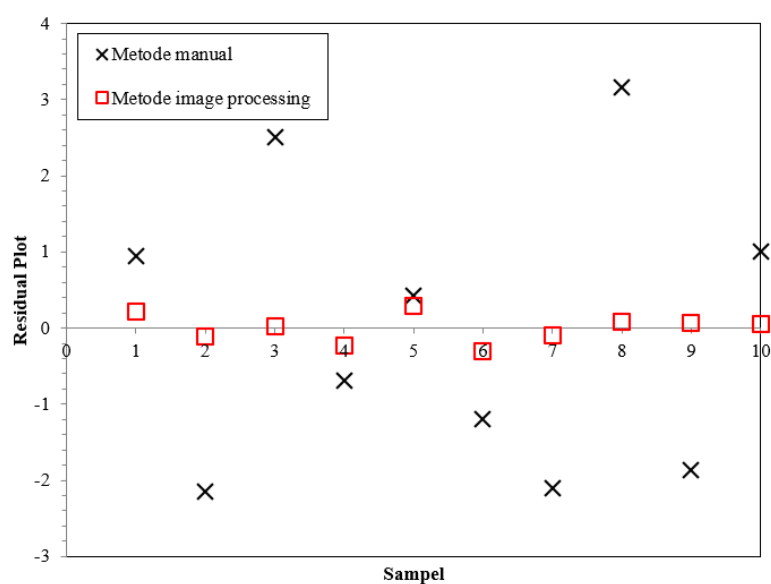
Setelah dilakukan eksperimen pengukuran nilai resistivitas bahan dengan menggunakan metode *image processing* dan cara manual, maka data hasil pengukuran dapat dianalisis secara statistik untuk melihat akurasi/pola pengukuran. Temuan eksperimen menunjukkan bahwa identifikasi ukuran sampel dengan menggunakan metode *image processing* sangat mudah dilakukan. Dengan menggunakan mikroskop digital dalam pengamatan akan membantu identifikasi sampel yang ukurannya tipis serta mudah rusak apabila terkena sentuhan. Hal ini memberikan kelebihan dibandingkan identifikasi sampel dengan metode manual menggunakan alat konvensional. Perbandingan hasil identifikasi ukuran sampel (lebar dan ketebalan) dengan metode *image processing* dan metode manual dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan identifikasi ukuran sampel: a. identifikasi lebar dan b. identifikasi ketebalan

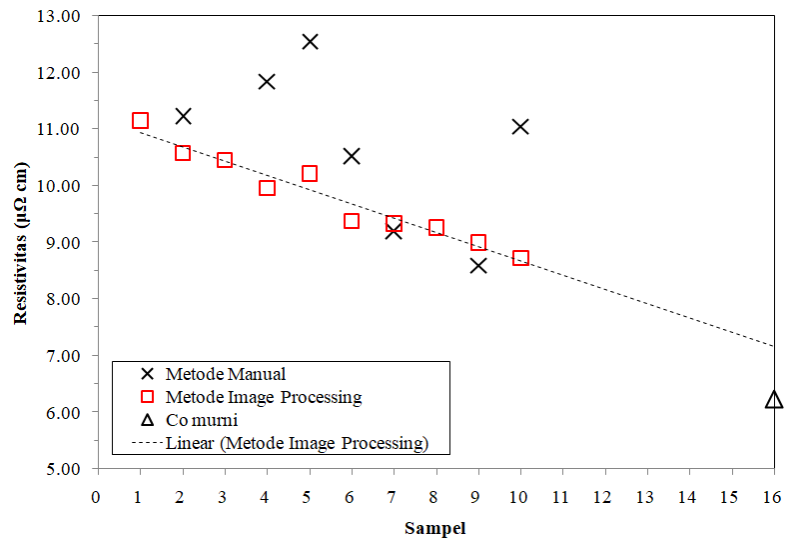
Perbandingan identifikasi ukuran sampel antara metode manual dengan metode *image processing* memiliki pola yang cukup sama. Ini terlihat dari analisis korelasinya yang nilainya mendekati satu. Nilai korelasi untuk pengukuran lebar sampel dengan dua jenis metode ini didapatkan sebesar  $r = 0,88$ , sedangkan untuk ketebalan sampel didapatkan nilai korelasi sebesar  $r = 0,72$ . Kesamaan pola pada pengukuran lebar sampel lebih tinggi dikarenakan identifikasi bagian ini memiliki wilayah ukur yang cukup besar, sehingga secara visual/manual mudah diamati dan diukur. Sedangkan pengukuran ketebalan ( $d$ ) sampel yang sangat tipis terdapat perbedaan data yang makin besar. Hal ini membuktikan bahwa semakin kecil bidang pengukuran, nilai hasil pengukuran metode *image processing* semakin jauh dari hasil pengukuran manual.

Setelah didapatkan nilai ukuran sampel, maka selanjutnya dilakukan perhitungan nilai resistivitas ( $\rho$ ) sampel. Penggunaan metode *image processing* memberikan data yang lebih baik dibandingkan dengan metode manual. Nilai resistivitas sampel dengan metode *image processing* memberikan data dengan pola yang teratur dibandingkan dengan metode manual, sehingga pola ini bisa memberikan gambaran bagaimana sifat resistivitas bahan terhadap perubahan kandungan penyusun. Pola sebaran nilai resistivitas bahan dapat dilihat pada sebaran data dengan acuan prediksi linier masing-masing data. Dengan acuan ini, hasil pengukuran dengan metode manual memberikan sebaran data (deviasi) yang cukup lebar, sehingga data bersifat acak dan tidak akurat. Lain halnya dengan metode *image processing* memberikan sebaran data (deviasi) yang cukup sempit, sehingga data resistivitas bahan sampel dengan metode ini cukup akurat dan memberikan pola yang bagus terhadap perubahan kandungan bahan penyusun sampel. Sebaran data dapat dilihat pada Gambar 5.



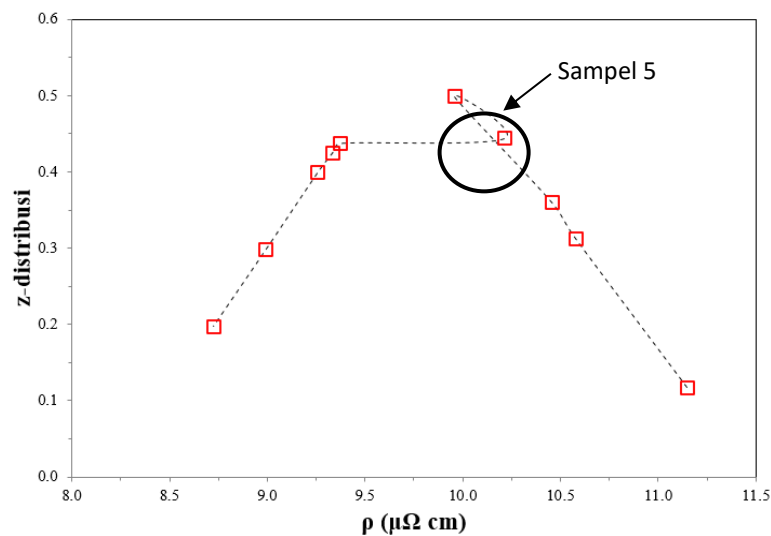
Gambar 5. Perbandingan sebaran data pengukuran resistivitas sampel dengan dua metode yang berbeda

Pada Gambar 6 dapat dilihat pola hasil nilai resistivitas terhadap perubahan kandungan penyusun sampel. Hasil pengukuran dengan metode *image processing* berbentuk linier negatif atau artinya nilai resistivitas akan semakin menurun dengan teratur pada saat kandungan Kobalt pada sampel semakin bertambah sampai menuju titik Kobalt murni (poin 16). Garis putus-putus (*dash line*) pada Gambar 6 menggambarkan prediksi secara linier dari data resistivitas dengan metode *image processing* menuju nilai resistivitas bahan Kobalt murni (kandungan Nikel 0%), yaitu sebesar  $6,23 \mu\Omega \text{ cm}$  (Fickett, 1982). Sehingga, metode *image processing* dalam identifikasi ukuran sampel adalah pilihan yang cukup baik dalam menentukan nilai resistivitas bahan dengan akurat.



Gambar 6. Perbandingan data resistivitas bahan sampel logam tipis Nikel Kobalt dengan dua pengukuran yang berbeda

Tingkat akurasi juga diukur dengan membandingkan nilai pengukuran Sampel 2, Sampel 7, dan Sampel 9 dengan logam tipis buatan pabrik yang sudah terstandar dengan nilai resistivitas 10,66  $\mu\Omega$  cm, 9,39  $\mu\Omega$  cm, dan 8,47  $\mu\Omega$  cm, sehingga didapatkan rata-rata persen error dari eksperimen ini adalah sebesar 1,47%. Analisis distribusi data dari pengukuran resistivitas bahan dengan metode *image processing* menunjukkan distribusi yang hampir normal, terdapat satu buah data yang distribusinya tidak mengikuti pola, yaitu data pada Sampel 5. Fenomena ini bisa terjadi akibat pengaruh kemurnian bahan sampel dan kesalahan dalam produksi sampel, yang akan menjadi kajian penelitian selanjutnya. Pola distribusinya dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik z-distribusi data resistivitas sampel dengan metode *image processing*

## SIMPULAN

Metode *image processing* adalah salah satu pilihan yang tepat dalam penentuan ukuran sampel kecil dan berbentuk acak, karena memanfaatkan tangkapan gambar dari mikroskop digital atau kamera yang bisa diperbesar dan dianalisis secara akurat menggunakan software. Hasil eksperimen

menunjukkan bahwa metode *image processing* memiliki tingkat akurasi yang baik dibanding metode manual. Pola hasil perhitungan nilai resistivitas bahan ini memberikan gambaran bahwa nilai resistivitas sampel akan semakin menurun terhadap peningkatan kandungan Kobalt di dalam sampel. Sedangkan untuk akurasi pengukuran nilai resistivitas bahan memiliki tingkat persen error yang kecil. Penentuan ukuran sampel dengan *image processing* adalah cara yang mudah, biaya murah, dan memiliki tingkat akurasi yang baik, dan sangat cocok diterapkan pada perhitungan nilai resistivitas logam tipis.

## REFERENSI

- Acharya, T., & Ray, Ajoy, K. (2005). Image Processing: Principles and Applications. In *IEEE Transactions on Neural Networks* 18(2). Wiley Interscience.
- Ernst Schmiedl, Peter Wissmann, H.-U. F. (2014). The Electrical Resistivity of Ultra-Thin Copper Films. *Verlag Der Zeitschrift Fur Naturforschung*, 63(10–11).
- Fickett, F. R. (1982). *Electrical Properties of Materials and Their Measurement at Low Temperatures*. NBS Technical Publications.
- Frey, H., & Khan, H. R. (2015). *Handbook of Thin-Film Technology*. Springer-Verlag.
- Meaden, G. T. (1965). *Electrical Resistance of Metals*. Springer-Science+Business Media, B.V.
- Rossiter, Paul, L. (2003). *The Electrical Resistivity of Metals and Alloys*. Cambridge University Press.
- Schroder, D.K. (2015). *Semiconductor Material and Device Characterization* (3rd ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Singh, S., & Pandey, S. K. (2018). Fabrication of Simple Apparatus for Resistivity Measurement in High-Temperature Range 300-620 K. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 67(9), 2169–2176.
- Solymar, L., Walsh, D., & Syms, R. R. A. (2014). *Electrical Properties of Materials 9<sup>th</sup> Ed*. Oxford University Press.
- White, M. A. (2012). *Physical Properties of Materials: Second Edition* (2nd ed.). CRC Press.
- Wismann, P., & Finzel, H.-U. (2007). *Electrical Resistivity of Thin Metal Film*. Springer-Verlag.