

Kajian pengaruh parameter ginzburg-landau terhadap medan kritis superkonduktor tipe II berbentuk persegi panjang

Nanda Poskarina, Fuad Anwar, dan Artono Dwijo Sutomo

Program studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sebelas Maret (UNS), Surakarta, Indonesia

E-mail: fanwar@staff.uns.ac.id

Abstrak. Telah dilakukan penelitian untuk kajian pengaruh parameter Ginzburg-Landau terhadap medan kritis superkonduktor tipe II berbentuk persegi panjang. Superkonduktor tersebut dianggap berada di ruang hampa dan dikenai medan magnet luar yang bersifat gayut waktu. Dengan menggunakan persamaan Ginzburg-Landau Gayut Waktu dan metode ψU , persamaan dapat diselesaikan dan dibuat program simulasi. Program simulasi dijalankan dengan memvariasi masukan parameter Ginzburg-Landau pada tiga keadaan luasan bahan superkonduktor. Keluaran program simulasi berupa data-data yang dapat diolah menjadi grafik nilai medan kritis rendah dan medan kritis permukaan sebagai fungsi parameter Ginzburg-Landau. Hasil kajian terhadap grafik pada tiga keadaan luasan menunjukkan jika nilai parameter Ginzburg-Landau membesar, maka nilai medan kritis rendah dan medan kritis permukaan menurun.

1. Pendahuluan

Superkonduktor adalah suatu material yang dapat menghantarkan arus listrik secara sempurna dengan resistivitas nol dibawah suhu kritis dan tidak ada medan magnet dalam superkonduktor [1,2]. Superkonduktor tipe II memiliki harga konstanta Ginzburg-Landau $\kappa > 1/\sqrt{2}$ disebut dengan keadaan campuran (*mixed state*) dan memiliki dua medan kritis yaitu medan kritis rendah H_{c1} dan medan kritis tinggi H_{c2} . Jika permukaan dari bahan superkonduktor diuji, maka akan terlihat medan kritis permukaannya H_{c3} . Fenomena yang akan terjadi ketika nilai dari medan magnet luar kurang dari H_{c1} maka akan terjadi superkonduktivitas sempurna, ketika nilainya berada diantara H_{c1} dan H_{c2} maka akan terjadi superkonduktivitas sebagian, dan ketika nilainya berada diantara H_{c2} dan H_{c3} maka akan terjadi superkonduktivitas permukaan [3, 4, 5].

Sifat dari superkonduktor dapat dikaji dengan menggunakan persamaan Ginzburg-Landau yang merupakan perluasan dari model gayut waktu (time-dependent) . Persamaan tersebut dikembangkan dengan metode ψU , karena tidak dapat diselesaikan dengan perhitungan biasa karena tak linier dan terdangeng [6]. Metode ψU yang telah dikembangkan oleh Ref. [6] dengan mengkaji pengaruh dimensi pada sifat magnet berbentuk persegi panjang dengan nilai parameter GL $\kappa = 2.0$. Penelitian tersebut menjadi dasar untuk pengkajian sifat magnet pada persegi panjang dengan memvariasi harga parameter GL κ .

2. Landasan teori

Harga parameter benahan ψ didalam suatu bahan superkonduktor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Ginzburg-Landau dan Ginzburg-Landau Gayut Waktu . berikut ini persamaan Ginzburg-Landau Gayut Waktu pertama [7,8,9].

$$\frac{\hbar^2}{2m_s D} \left(\frac{\partial}{\partial t} + i \frac{e_s}{\hbar} \phi(r,t) \right) \psi(r,t) = \frac{\hbar^2}{2m_s} \left(\nabla - i \frac{e_s}{\hbar} A(r,t) \right)^2 \psi(r,t) + |\alpha(T)| \psi(r,t) - \beta |\psi(r,t)|^2 \psi(r,t) \tag{2.1}$$

Persamaan Ginzburg-Landau Gayut Waktu Kedua [7,8,9].

$$\frac{1}{\mu_0} \nabla \times (\nabla \times A(r,t) - \mu_0 H_{ext}(r,t)) = \frac{\hbar e_s}{2im_s} \left(\bar{\psi}(r,t) \nabla \psi(r,t) - \psi(r,t) \nabla \bar{\psi}(r,t) - \frac{2ie_s}{\hbar} |\psi(r,t)|^2 A(r,t) \right) - \sigma \left(-\nabla \phi(r,t) - \frac{\partial A}{\partial t}(r,t) \right) \tag{2.2}$$

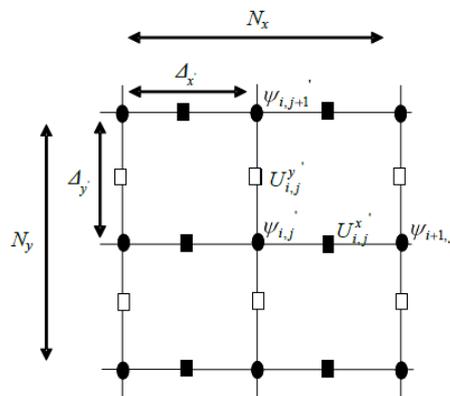
Sedangkan harga parameter benahan ψ yang berada pada batas suatu bahan superkonduktor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan syarat batas, sebagai berikut :

$$\hat{n} \cdot \left(\nabla - \frac{ie_s}{\hbar} A \right) \psi = 0 \tag{2.3}$$

Dengan \hat{n} adalah normal permukaan bidang batas antara superkonduktor dan bahan lainnya.

3. Formatting the title, authors and affiliations

Berdasarkan metode ψU untuk superkonduktor berbentuk persegi panjang dengan ukuran panjang $N_x \times N_y$ yang akan terdiri dari sekumpulan sel dengan ukuran $\Delta_x \times \Delta_y$, dan setiap sel tersusun atas tiga besaran, yaitu ψ' , $U^{x'}$ dan $U^{y'}$. Seperti yang terlihat pada gambar (2.4).



Gambar 1. Skema Sel-Sel Superkonduktor Dalam Metode ψU

Penjelasan tentang ketiga besaran ψ' , $U^{x'}$, dan $U^{y'}$ pada peristiwa superkonduktor yang diteliti adalah:

ψ' merupakan parameter benahan dari superkonduktor yang dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$\psi'(x', y', t') = \psi_{i,j}'(t') \quad (2.4)$$

Dengan $1 \leq i \leq N_x + 1$ dan $1 \leq j \leq N_y + 1$

$U^{x'}$ merupakan peubahan pautan (*link variable*) potensial vektor magnet pada sumbu $x'(A_x')$ yang dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$U^{x'}(x', y', t') = U_{i,j}^{x'}(t') = \exp\left(-i \int_i^{i+1} A_x'(\xi', y', t') d\xi'\right) \quad (2.5)$$

Dengan $1 \leq i \leq N_x + 1$ dan $1 \leq j \leq N_y + 1$.

$U^{y'}$ merupakan peubahan pautan (*link variable*) potensial vektor magnet pada sumbu $y'(A_y')$ yang dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$U^{y'}(x', y', t') = U_{i,j}^{y'}(t') = \exp\left(-i \int_i^{i+1} A_y'(\eta', y', t') d\eta'\right) \quad (2.6)$$

Dengan $1 \leq i \leq N_x + 1$ dan $1 \leq j \leq N_y + 1$.

Metode ψU digunakan untuk menjalankan program simulasi, dengan bahasa pemrogramannya menggunakan persamaan Ginzburg-Landau gayut waktu yang telah dibuat menjadi sebuah persamaan berbentuk diskrit, Sehingga program ini dapat dijalankan untuk penelitian. Program penelitian ini sebelumnya telah dilakukan oleh Ref. [6].

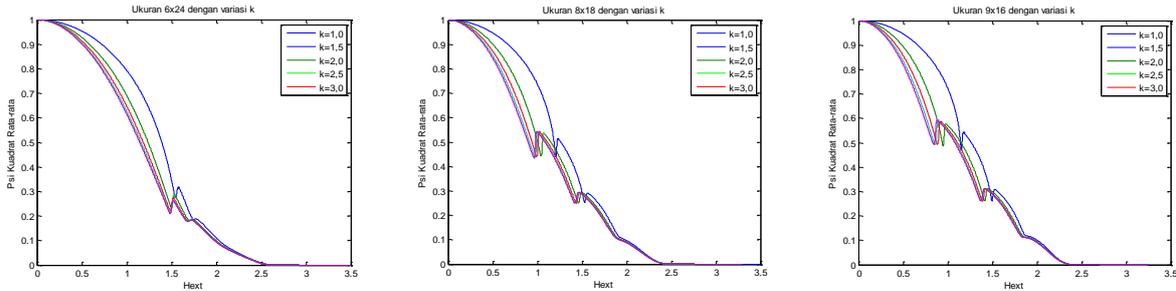
4. Hasil dan pembahasan

Jika hasil pemrograman simulasi diberikan inputan tetap sebesar $\Delta_x = 0,5$, $\Delta_y = 0,5$, $\Delta_{t'} = 0,0005$, $\Delta H'_{ext} = 0,000001$ dan inputan yang bervariasi yaitu parameter Ginzburg-Landau κ dan ukuran seperti pada table dibawah ini :

Tabel 1. Variasi masukan parameter Ginzburg-Landau dalam bentuk persegi panjang

Dimensi Ukuran ($N_x \times N_y$)	parameter Ginzburg-Landau (κ)
6x24	1,0
	1,5
	2,0
	2,5
	3,0
8x18	1,0
	1,5
	2,0
	2,5
	3,0
9x16	1,0
	1,5
	2,0
	2,5
	3,0

Hasil program simulasi berupa grafik modulus parameter benahan kuadrat rata-rata terhadap medan magnet luar dengan harga parameter benahan $0 < \psi < 1$, grafik dimulai saat $\langle |\psi'|^2 \rangle = 1$ dan harga $H'_{ext} = 0$. Ketika harga medan magnet luar dari suatu bahan dinaikan secara perlahan maka harga dari parameter benahan akan turun secara perlahan menuju titik minimum lokal dan akan naik menuju titik maksimum lokal sampai harga $\langle |\psi'|^2 \rangle = 0$. Pada saat harga $\langle |\psi'|^2 \rangle$ mencapai nol, maka harga H_{ext} yang didapatkan pada setiap ukuran dan κ akan semakin mengecil. Seperti pada gambar 2 dibawah ini :

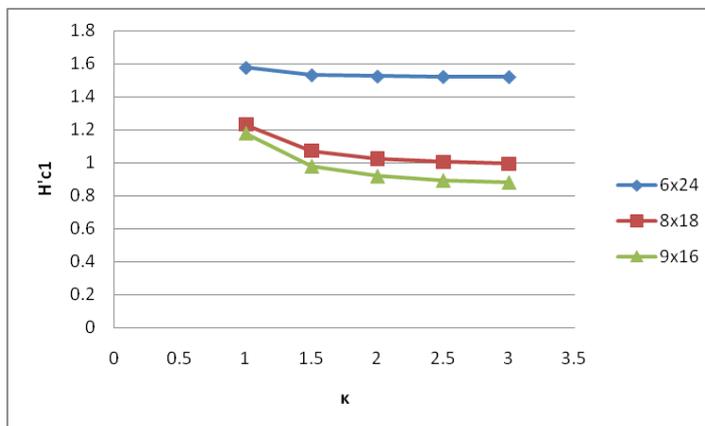


Gambar 2. Grafik hubungan $\langle |\psi'|^2 \rangle - H'_{ext}$ pada ukuran 6x24, 8x18 dan 9x16

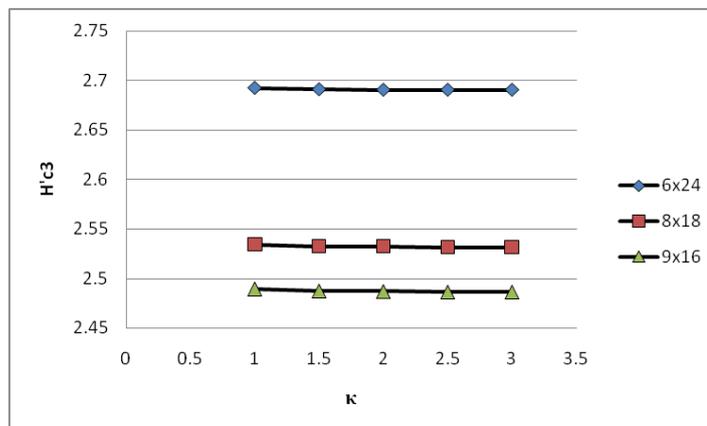
Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa ukuran dan parameter GL dari suatu bahan memengaruhi bentuk grafik $\langle |\psi'|^2 \rangle - H'_{ext}$. Perubahan ukuran dan κ dari suatu bahan akan berbanding terbalik dengan nilai maksimum lokal dan minimum lokal pada grafik tersebut. Menurut penelitian sebelumnya, H_{c1} dan H_{c3} dapat ditentukan dengan melihat titik maksimum pertama dan titik nol pada grafik $\langle |\psi'|^2 \rangle - H'_{ext}$ [6]. Hasil dapat dilihat pada tabel 2 :

Tabel 2. Harga H_{c1} dan H_{c3} pada setiap ukuran dan parameter Ginzburg-landau κ

κ	6x24		8x18		9x16	
	H'_{c1}	H'_{c3}	H'_{c1}	H'_{c3}	H'_{c1}	H'_{c3}
1,0	1,576	2,6925	1,232	2,5340	1,1775	2,4895
1,5	1,5295	2,691	1,071	2,5325	0,979	2,4875
2,0	1,5215	2,6905	1,024	2,5320	0,9195	2,4870
2,5	1,519	2,6905	1,0035	2,5315	0,894	2,4865
3,0	1,518	2,6905	0,993	2,5315	0,8815	2,4865



Gambar 3. Grafik hubungan medan kritis rendah H'_{c1} terhadap parameter GL κ



Gambar 4. Grafik hubungan medan kritis permukaan H'_{c3} terhadap parameter GL

Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai H_{c1} dan H_{c3} akan menurun seiring dengan bertambahnya κ dan akan meningkat seiring dengan bertambahnya nilai κ . Namun, nilai H_{c3} tidak terlalu signifikan penurunannya. Jika ditinjau dari ukuran yang bervariasi dalam satu basis yaitu basis luasan 144 didapatkan nilai H_{c1} dan H_{c3} yang berbeda-beda dan akan semakin menurun nilainya saat ukuran pada N_x bertambah. Saat diamati nilai dari keliling per-luasan menurun maka akan berbanding lurus dengan nilai H_{c1} dan H_{c3} . Hal diatas dapat terlihat bahwa untuk semua ukuran dengan parameter GL yang bervariasi, karakteristik H_{c1} dan H_{c3} akan menurun.

5. Kesimpulan

Superkonduktor tipe II dapat dilihat dengan memperhatikan medan kritisnya (medan kritis rendah H_{c1} dan medan kritis permukaan H_{c3}). Jika suatu bahan superkonduktor diberikan parameter GL dan ukuran yang bervariasi, sehingga didapatkan hasil nilai H_{c1} dan H_{c3} yang menurun seiring dengan bertambahnya parameter GL dan akan meningkat seiring dengan mengurangnya nilai parameter GL. Saat bahan tersebut ditinjau dengan ukuran N_x yang meningkat, hasil H_{c1} dan H_{c3} akan berbanding terbalik dengan nilai N_x tersebut dan begitu pula sebaliknya. Dari ukuran $N_x \times N_y$ didapatkan data tentang keliling perluasan, keliling perluasan ternyata berpengaruh pada hasil H_{c1} dan H_{c3} . Ketika diperhatikan, nilai tersebut akan berbanding lurus dengan H_{c1} dan H_{c3} , yang artinya apabila keliling perluasan menurun maka nilai H_{c1} dan H_{c3} akan menurun.

6. Daftar pustaka

- [1] Rahardjo, D.T., Budiawanti, S., Rahmasari, L. (2012). Pengaruh Perubahan Suhu Sintering Pada Sintesis Superkonduktor $Pb_2Ba_2Ca_2Cu_3O_9$. *Prosiding : Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika*, **03**, 01.
- [2] Larasati, N., Rahman, T., Mulyana, E., Safriana, L., Taniguchi., Risdiana. (2015). Sintesis dan Karakterisasi Bahan Organik Superkonduktor β -(BEDT-TTF)2I3 dan β' -(BEDT-TTF)2ICl2. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, **05**, 01, 1 – 6.
- [3] Anwar, F., Nurwantoro, P., Hermanto, A. (2014). Study Of Anisotropy Superconductor Using Time-Dependent Ginzburg-Landau Equation, *Journal of Natural Sciences Research*, 99-106.
- [4] Stosic, D., Stosic, D., Ludermin, T., Stosic, B., Milosevic, M. V. (2016). GPU-Advanced 3D Electromagnetic Simulations Of Superconductors In The Ginzburg-Landau Formalism, *Journal of Computational Physics* **32**, 183–198.
- [5] Oliveira, I. (2017). The Threshold Temperature Where Type-II Interchange In Mesoscopic Superconductors at The Bogomolnyi Limit, *Departamento de Fisica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, CEP 23890-000, Seropédica, RJ, Brazil*.

- [6] Anwar, F., Nurwanto, P., Hermanto, A., (2014). Kajian Medan Kritis pada Penyelesaian Komputasi Persamaan Ginzburg-Landau Gayut Waktu. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY, Yogyakarta*. ISSN : 0853-0823.
- [7] Gor'kov, L.P. dan Eliashberg, G., (1968). Generalization of the Ginzburg-Landau Equations for Non-Stationary Problems in The Case of Alloys With Paramagnetic Impurities, *Soviet Phy-JETP*, **27**, 328-334.
- [8] Tinkham, M., (1996). Introduction to Superconductivity, McGraw-Hill Inc., Singapore.
- [9] Wisodo, H. (2004). Penghitungan Numerik Besaran Termodinamika Bahan Superkonduktor Mesoskopik Berdasarkan Model Ginzburg-Landau, Yogyakarta : Tesis S2, Program Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada.