

Kajian pengaruh variasi luasan terhadap sifat-sifat superkonduktor Tipe II berbentuk persegi panjang pada keadaan efek proksimitas

Rezza Anwar, Fuad Anwar dan Hery Purwanto

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 kajian numerik pengaruh luasan bahan terhadap sifat-sifat superkonduktor tipe II pada keadaan efek proksimitas. Superkonduktor dianggap berbentuk persegi panjang dan dikenai medan magnet luar. Keadaan efek proksimitas ditandai dengan keadaan bahan superkonduktor yang berbatasan dengan bahan lain. Kajian dilakukan dengan program simulasi yang dibuat berdasarkan penyelesaian persamaan Ginzburg-Landau gayut waktu dengan metode $\square U$. Program simulasi dijalankan dengan bervariasi masukan luasan bahan pada keadaan efek proksimitas. Keluaran program simulasi berupa data-data yang dapat diolah menjadi grafik nilai parameter bahan sebagai fungsi medan magnet luar dan luasan bahan. Hasil kajian terhadap grafik tersebut menunjukkan bahwa pada keadaan efek proksimitas yang dikaji, semakin luas bahan superkonduktor maka jumlah vorteks semakin banyak.

1. Pendahuluan

Dalam penerapan bahan superkonduktor di bidang teknologi, tidak bisa dihindari bahwa bahan superkonduktor selalu berbatasan dengan bahan lain, oleh karena itu kajian tentang pengaruh bahan lain terhadap superkonduktor perlu dilakukan. Pengaruh bahan lain terhadap perubahan sifat superkonduktor dikenal sebagai efek proksimitas [1].

Dari penelitian sebelumnya, telah dikaji pengaruh efek proksimitas dan ukuran luas terhadap sifat magnet superkonduktor dengan superkonduktor berbentuk bujur sangkar. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan persamaan TDGL yang diselesaikan dengan metode ψU [2]. Kemudian penelitian serupa dilakukan dengan variasi panjang ekstrapolasi pada superkonduktor berbentuk persegi panjang [3] dan penelitian dengan variasi ukuran superkonduktor tanpa efek proksimitas pada superkonduktor berbentuk persegi panjang [4]. Semua penelitian di atas menghasilkan bahwa efek proksimitas dan ukuran luas mempengaruhi sifat magnet superkonduktor. Penelitian ini akan mengkaji pengaruh variasi ukuran terhadap sifat magnet superkonduktor tipe II berbentuk persegi panjang dalam pengaruh efek proksimitas.

2. Landasan teori

Persamaan Ginzburg-Landau dan Ginzburg-Landau Gayut Waktu banyak digunakan untuk menjelaskan sifat magnet dari bahan superkonduktor. Persamaan Ginzburg-Landau Gayut Waktu atau yang biasa dikenal dengan persamaan TDGL (Time Dependent Ginzburg-Landau) merupakan

persamaan kompleks yang terlihat dari persamaan yang berbentuk nonlinier dan terdependen sehingga perlu digunakan metode numerik agar bisa digunakan dengan penyelesaian komputasi. Salah satu metode numerik yang sudah banyak digunakan dan telah terbukti dapat menyelesaikan persamaan TDGL dengan hasil yang konsisten adalah metode ψU . Persamaan TDGL yang telah dinormalisasi dituliskan sebagai [1,5]:

$$\frac{\partial \psi'}{\partial t'} = \left(\frac{\partial}{\partial x'} - iA_x' \right)^2 \psi' + \left(\frac{\partial}{\partial y'} - iA_y' \right)^2 \psi' + \left(1 - |\psi'|^2 \right) \psi' \quad (1)$$

$$\frac{\partial A_x'}{\partial t'} \hat{x} = \frac{1}{2i} \left(\overline{\psi'} \frac{\partial \psi'}{\partial x'} - \psi' \frac{\partial \overline{\psi'}}{\partial x'} - 2i |\psi'|^2 A_x' \right) \hat{x} - \kappa^2 \frac{\partial}{\partial y'} \left(\frac{\partial A_y'}{\partial x'} - \frac{\partial A_x'}{\partial y'} \right) \hat{x} \quad (2)$$

$$\frac{\partial A_y'}{\partial t'} \hat{y} = \frac{1}{2i} \left(\overline{\psi'} \frac{\partial \psi'}{\partial y'} - \psi' \frac{\partial \overline{\psi'}}{\partial y'} - 2i |\psi'|^2 A_y' \right) \hat{y} + \kappa^2 \frac{\partial}{\partial x'} \left(\frac{\partial A_y'}{\partial x'} - \frac{\partial A_x'}{\partial y'} \right) \hat{y} \quad (3)$$

Dimana ψ adalah parameter benahan, A adalah potensial vektor magnet, $\frac{\partial}{\partial t}$ adalah perubahan terhadap waktu, $\frac{\partial}{\partial x}$ dan $\frac{\partial}{\partial y}$ perubahan terhadap panjang dan κ adalah parameter Ginburg-Landau.

Harga parameter benahan pada batas superkonduktor dihitung dengan menggunakan persamaan syarat batas yang dituliskan sebagai:

$$\hat{n} \cdot [\nabla - iA] \psi = 0 \quad (4)$$

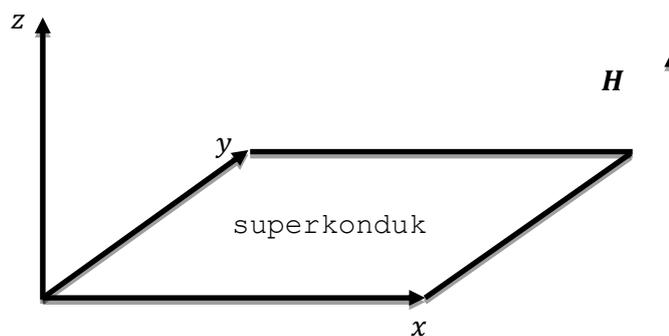
Persamaan (4) merupakan persamaan syarat batas superkonduktor pada ruang hampa, namun dalam penerapannya tidak bisa dihindari bahwa superkonduktor selalu berbatasan dengan bahan lain. Keadaan ini membuat kajian sifat magnet superkonduktor perlu mempertimbangkan adanya pengaruh dari efek proksimitas. Persamaan syarat batas superkonduktor pada keadaan efek proksimitas dituliskan sebagai:

$$\hat{n} \cdot [\nabla - iA] \psi = \frac{i}{b} \psi \quad (5)$$

3. Metode numerik

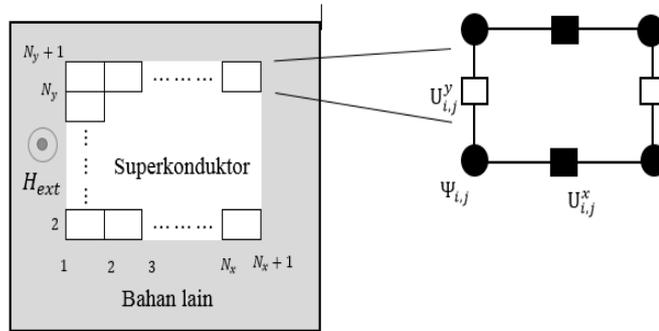
Metode ψU menggambarkan superkonduktor berbentuk persegi dengan ukuran panjang $N_x \times N_y$. Berdasarkan metode ψU , superkonduktor diasumsikan berbentuk persegi panjang dengan ukuran $N_x \times N_y$ yang terdiri dari sekumpulan sel dengan ukuran $\Delta_x \times \Delta_y$, dan setiap sel tersusun atas tiga besaran, yaitu ψ' , $U^{x'}$ dan $U^{y'}$. Seperti yang terlihat pada Gambar 2 [1,6].

Objek yang diteliti merupakan superkonduktor persegi panjang dengan $N_x \times N_y$, yang dikenai medan magnet luar yang bersifat seragam dan gayut waktu serta mengarah ke sumbu z positif seperti pada Gambar 1 [1,6].



Gambar 1. Skema superkonduktor yang dikenai medan magnet luar [2].

Metode ψU menggambarkan superkonduktor berukuran $N_x \times N_y$ tersusun dari sekumpulan sel-sel kotak yang lebih kecil berukuran $\Delta x' \times \Delta y'$, seperti terlihat di Gambar (2) Di tiap sel tersebut, terdapat tiga besaran fundamental, yaitu : ψ' , U_x' dan U_y' [1,2].



Gambar 2. Gambaran superkonduktor berdasarkan metode ψU [2].

Penjelasan tentang ketiga besaran ψ' , U_x' , dan U_y' tersebut adalah [2]:

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

$$\psi'(x', y', t') = \psi'_{i,j}(t') \tag{6}$$

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

U_x' merupakan perubahan pautan (link variable) potensial vektor magnet pada sumbu $x'(A_x')$ yang dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$U_x'(x', y', t') = U_{i,j}^x(t') = \exp\left(-i \int_i^{i+1} A_x'(\xi', y', t') d\xi'\right) \tag{7}$$

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

U_y' merupakan perubahan pautan (link variable) potensial vektor magnet pada sumbu $y'(A_y')$ yang dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$U_y'(x', y', t') = U_{i,j}^y(t') = \exp\left(-i \int_i^{i+1} A_y'(\eta', y', t') d\eta'\right) \tag{8}$$

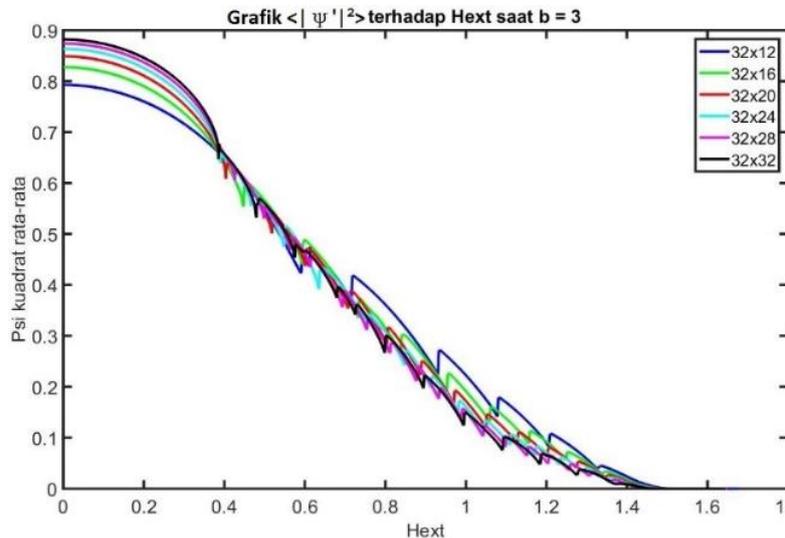
Dengan $1 \leq i \leq N_x + 1$ dan $1 \leq j \leq N_y + 1$.

4. Hasil dan pembahasan

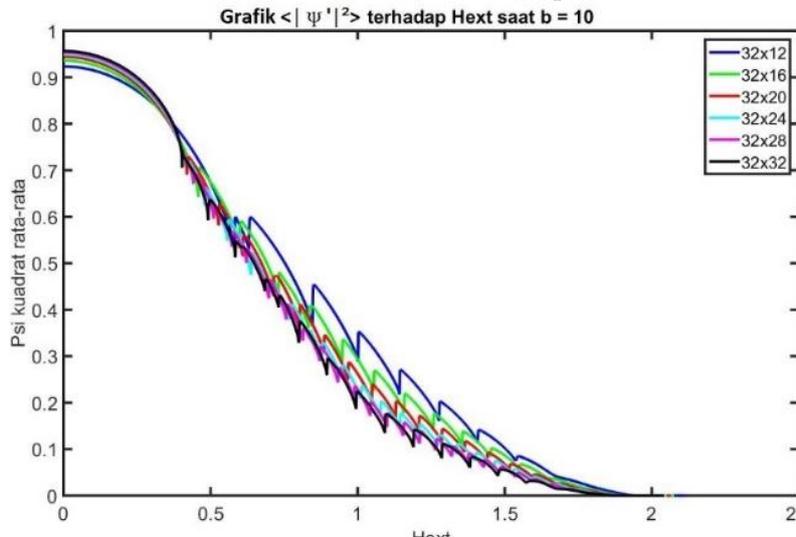
Berdasarkan Gambar 3-5 di atas terlihat bahwa efek proksimitas mempengaruhi superkonduktor tipe-II baik yang berbentuk bujur sangkar atau pun persegi panjang. Pada grafik tersebut juga terlihat bahwa pengaruh efek proksimitas atau besarnya harga panjang ekstrapolasi (b') sangat berpengaruh pada harga $\langle |\Psi'|^2 \rangle$. Ketika b' berharga 3, maka grafik akan bermula antara $\langle |\Psi'|^2 \rangle = 0,7$ sampai $\langle |\Psi'|^2 \rangle = 0,9$. Kemudian ketika b' berharga 10 grafik bermula antara $\langle |\Psi'|^2 \rangle = 0,9$ hingga harga $\langle |\Psi'|^2 \rangle$ mendekati 1. Dari penelitian sebelumnya (Rosyida, 2017) diketahui bahwa grafik $\langle |\Psi'|^2 \rangle - H'_{ext}$ dengan harga awal $\langle |\Psi'|^2 \rangle = 1$ merupakan grafik untuk keadaan tanpa ada efek proksimitas. Penelitian lain (Naufal, 2017) menyebutkan bahwa semakin besar panjang ekstrapolasi maka akan superkonduktor mendekati keadaan tanpa efek proksimitas, hal ini sesuai dengan teori pada persamaan syarat batas dimana jika panjang ekstrapolasi semakin besar akan membuat persamaan syarat batas pada ruas kanan mendekati nol atau mendekati persamaan syarat batas tanpa efek proksimitas.

Dari grafik $\langle |\Psi'|^2 \rangle$ terhadap H_{ext} (Gambar 3-4) terlihat bahwa semakin besar nilai H_{ext} maka harga $\langle |\Psi'|^2 \rangle$ akan semakin kecil, hal ini menunjukkan bahwa bahan superkonduktor semakin kehilangan

sifat superkonduktivitasnya. Untuk mengamati secara lebih detail maka dibuat grafik permukaan harga Ψ dengan perubahan H_{ext} (Gambar 5-16).

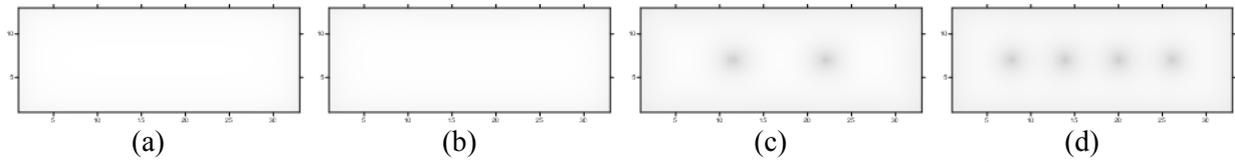


Gambar 3. Grafik $\langle |\Psi'|^2 \rangle - H'_{ext}$ pada $b = 3$

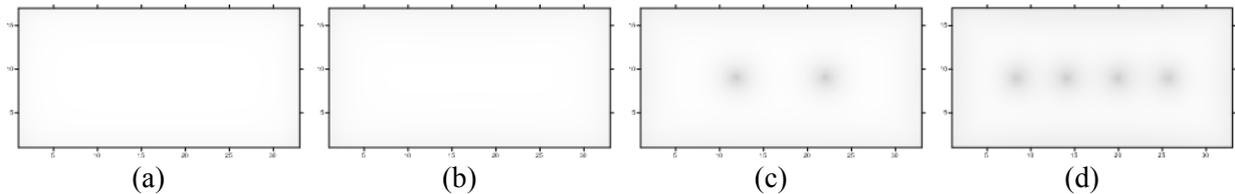


Gambar 4. Grafik $\langle |\Psi'|^2 \rangle - H'_{ext}$ pada $b = 10$

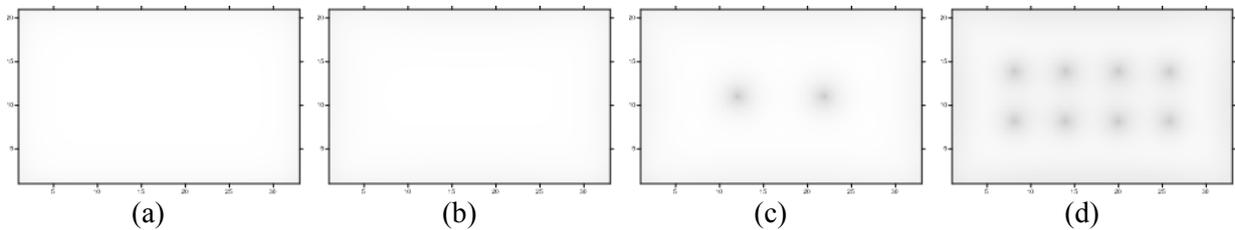
Gambar 5 -16 adalah Grafik permukaan superkonduktor untuk ukuran yang berbeda-beda dari grafik terlihat bahwa semakin besar nilai magnet luar maka semakin banyak vorteks magnet yang muncul di dalam bahan superkonduktor hal ini menunjukkan bahwa superkonduktor mengalami transisi dari fase efek meissner sempurna ke fase efek meissner sebagian, dari grafik permukaan juga dapat dilihat semakin besar ukuran superkonduktor maka akan semakin banyak vorteks yang muncul, hal tersebut terjadi karena superkonduktor yang dikaji berbentuk 2 dimensi yang dikenakan medan magnet luar seragam yang tegak lurus terhadap bidang superkonduktor sehingga semakin besar ukuran superkonduktor maka semakin banyak medan magnet yang mengenainya, dan saat harga panjang ekstrapolasi dinaikan maka vorteks juga akan semakin banyak hal ini menunjukkan bahwa superkonduktor semakin cepat kehilangan sifat superkonduktivitasnya.



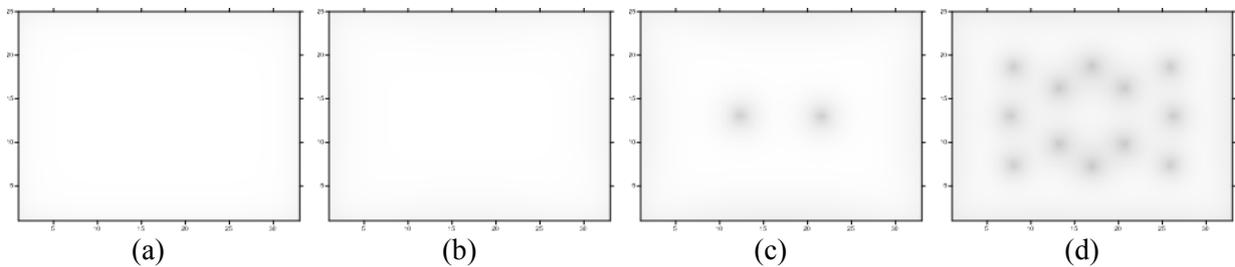
Gambar 5. Permukaan superkonduktor berukuran 32x12 pada $b = 3$ (a) $H_{ext} = 0.1$ (b) $H_{ext} = 0.3$ (c) $H_{ext} = 0.62$ (d) $H_{ext} = 0.76$



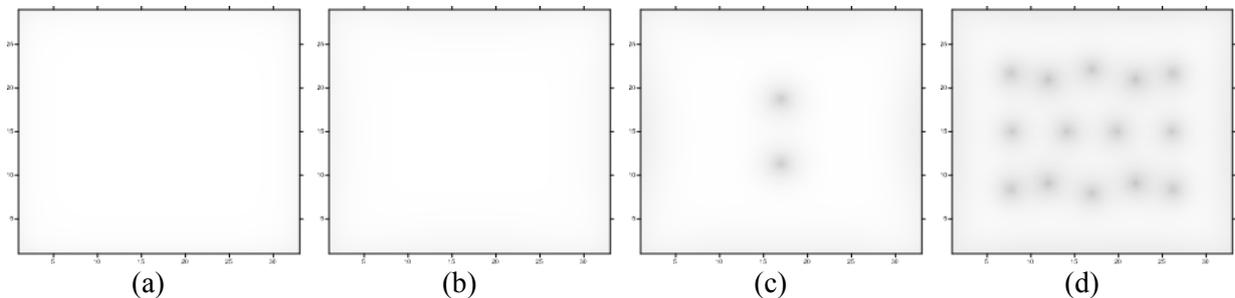
Gambar 6. Permukaan superkonduktor berukuran 32x16 pada $b = 3$ (a) $H_{ext} = 0.1$ (b) $H_{ext} = 0.3$ (c) $H_{ext} = 0.46$ (d) $H_{ext} = 0.76$



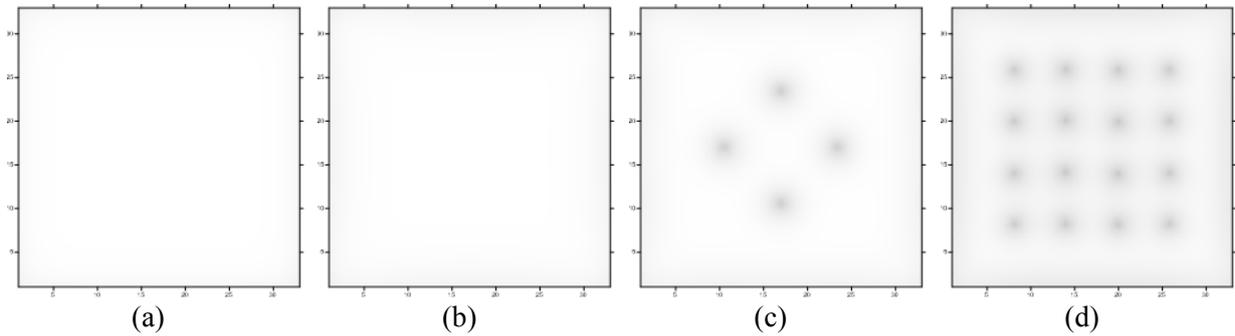
Gambar 7. Permukaan superkonduktor berukuran 32x20 pada $b = 3$ (a) $H_{ext} = 0.1$ (b) $H_{ext} = 0.3$ (c) $H_{ext} = 0.42$ (d) $H_{ext} = 0.76$



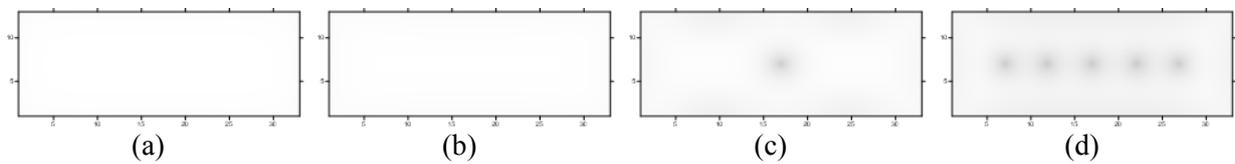
Gambar 8. Permukaan superkonduktor berukuran 32x24 pada $b = 3$ (a) $H_{ext} = 0.1$ (b) $H_{ext} = 0.3$ (c) $H_{ext} = 0.42$ (d) $H_{ext} = 0.76$



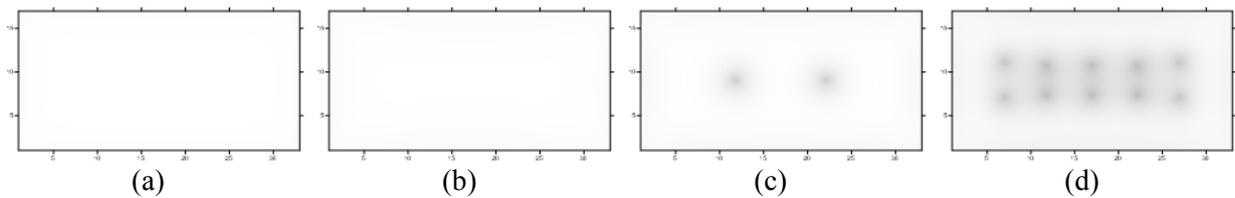
Gambar 9. Permukaan superkonduktor berukuran 32x28 pada $b = 3$ (a) $H_{ext} = 0.1$ (b) $H_{ext} = 0.3$ (c) $H_{ext} = 0.40$ (d) $H_{ext} = 0.76$



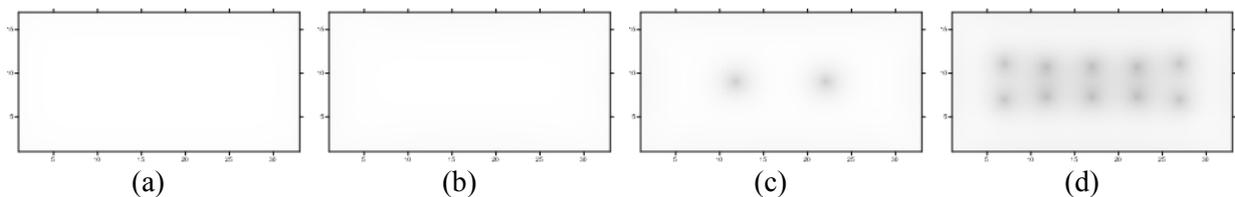
Gambar 10. Permukaan superkonduktor berukuran 32x32 pada $b = 3$ (a) $H_{ext} = 0.1$ (b) $H_{ext} = 0.3$ (c) $H_{ext} = 0.40$ (d) $H_{ext} = 0.76$



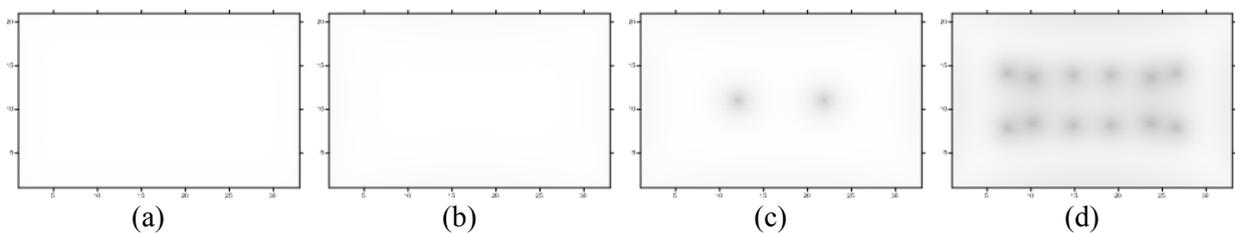
Gambar11. Permukaan superkonduktor berukuran 32x12 pada $b = 10$ dan (a) $H_{ext} = 0.1$ (b) $H_{ext} = 0.3$ (c) $H_{ext} = 0.60$ (d) $H_{ext} = 0.76$



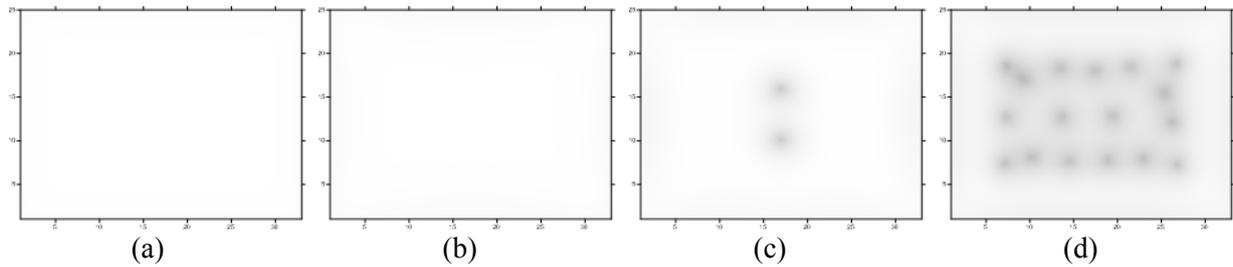
Gambar 12. Permukaan superkonduktor berukuran 32x16 pada $b = 10$ dan (a) $H_{ext} = 0.1$ (b) $H_{ext} = 0.3$ (c) $H_{ext} = 0.48$ (d) $H_{ext} = 0.76$



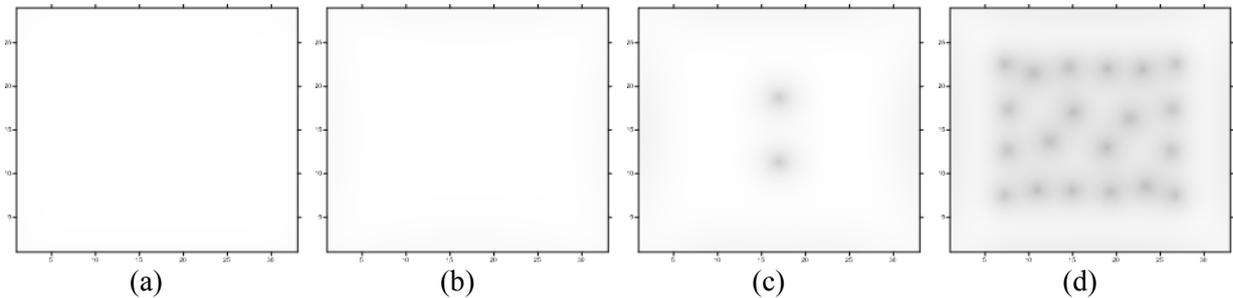
Gambar 12. Permukaan superkonduktor berukuran 32x16 pada $b = 10$ dan (a) $H_{ext} = 0.1$ (b) $H_{ext} = 0.3$ (c) $H_{ext} = 0.48$ (d) $H_{ext} = 0.76$



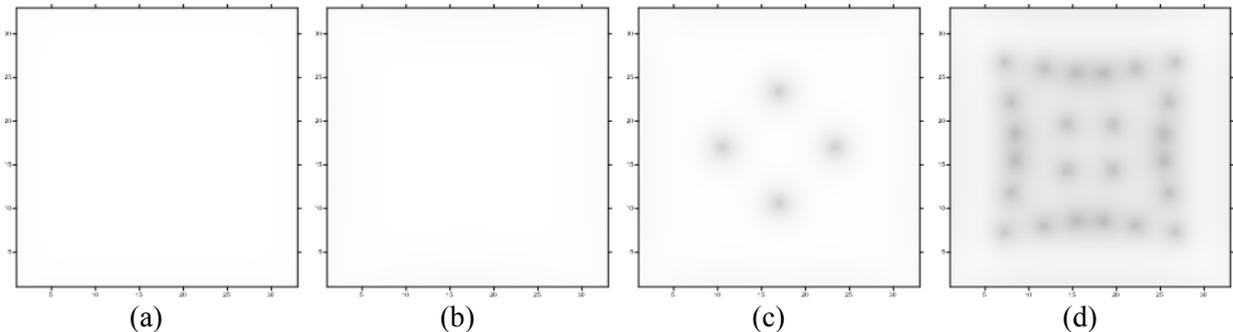
Gambar 13. Permukaan superkonduktor berukuran 32x20 pada $b = 10$ dan (a) $H_{ext} = 0.1$ (b) $H_{ext} = 0.3$ (c) $H_{ext} = 0.44$ (d) $H_{ext} = 0.76$



Gambar 14. Permukaan superkonduktor berukuran 32x24 pada $b = 3$ (a) $H_{ext} = 0.1$ (b) $H_{ext} = 0.3$ (c) $H_{ext} = 0.42$ (d) $H_{ext} = 0.76$



Gambar 15. Permukaan superkonduktor berukuran 32x28 pada $b = 10$ dan (a) $H_{ext} = 0.1$ (b) $H_{ext} = 0.3$ (c) $H_{ext} = 0.42$ (d) $H_{ext} = 0.76$



Gambar 16. Permukaan superkonduktor berukuran 32x32 pada $b = 10$ dan (a) $H_{ext} = 0.1$ (b) $H_{ext} = 0.3$ (c) $H_{ext} = 0.42$ (d) $H_{ext} = 0.76$

5. Kesimpulan

Dari penjabaran di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar ukuran superkonduktor yang dikenai medan magnet luar seragam maka akan semakin banyak vorteks magnet yang muncul di dalam bahan superkonduktor, lalu semakin besar panjang ekstrapolasi dari bahan yang berbatasan dengan superkonduktor maka akan membuat harga parameter benahan awal superkonduktor mendekati 1 atau superkonduktor semakin mendekati keadaan tanpa efek proksimitas.

6. Daftar pustaka

- [1] Mourachkine dan Andrei 2004 *Room-Temperature Superconductivity* (Cambridge: Cambridge International Science Publishing)
- [2] Anwar F, Nurwantoro P dan 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
- [3] Indriatmoko M N, Fuad A, Purwanto H 2017 J. Phys.: Conf. Ser. 909 012017
- [4] Rosyida R., Fuad A dan Darmanto 2017 J. Phys.: Conf. Ser. 909 012009

- [5] Tinkham, M 1996 *Introduction to Superconductivity* (Singapore: McGraw-Hill Inc)
- [6] Winiecki T dan Adams C S 2002 *A fast semi-implicit finite difference method for the TDGL equations*. J. of Computational Phys. 179 127-139