

Peningkatan Kualitas Kapasitor Pada Resonator Untuk Perbaikan Deteksi Sinyal Pada Eksperimen Amplifikasi Mode Bunyi Ketiga Pada Superfluida Helium-4

Y. Pramudya^{1*)}, F.M Ellis²

¹Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta

²Wesleyan University, Connecticut, USA

*) Email: ypramudya@uad.ac.id

Abstrak

Amplifikasi mode bunyi ketiga pada superfluida Helium-4 dimungkinkan dengan kondensasi atom helium pada lapisan tipis superfluida. Untuk mencapai osilasi diri, dibutuhkan faktor kualitas resonansi bunyi ketiga yang besar. Hal ini, bisa dicapai dengan peningkatan kualitas resonator yang digunakan untuk mendorong terjadinya mode bunyi ketiga dan mendeteksinya dengan kapasitor. Peningkatan kualitas resonator dilakukan dengan cara pengujian kebersihan celah kapasitor. Faktor kualitas yang dihasilkan pada eksperimen ini besar namun tidak cukup besar untuk mencapai keadaan osilasi diri dengan daya pemanas yang kecil. Hasil eksperimen dengan kondensasi menunjukkan adanya peningkatan faktor kualitas resonansi mode bunyi ketiga.

Keywords: *superfluids, helium-4, third sound, resonator, tunnel diode, persistent current, quality factor*

1. Pendahuluan

Helium-4 memiliki keunikan dalam hal perubahan fasa. Helium-4 tetap berada dalam fasa cair pada temperatur mutlak. Fasa cair ini akan berubah menjadi fasa padat bila Helium diberikan tekanan sebesar 25 atmosfer atau lebih. Fasa cair Helium-4 memiliki 2 jenis fasa yang disebut sebagai Helium I dan Helium II. Helium I bersifat seperti cairan pada umumnya yang mengikuti hukum fisika klasik. Sedangkan Helium II, sifat fisika kuantum terlihat. Helium II ini mengalir tanpa hambatan dan tidak membawa entropi. Fasa ini sering disebut juga fasa Superfluida [4].

Eksperimen membuktikan bahwa pada temperatur diatas temperatur mutlak, Helium II menunjukkan gejala fluida yang mengalir dengan viskositas. Hal ini membuat Tisza mengemukakan postulat tentang model dua fluida (*two fluid model*) [1]. Model tersebut membagi Helium II menjadi normal komponen dan superfluida komponen. Komponen superfluida inilah yang tidak mempunyai viskositas dan representasi keadaan dasar sistem. Sedangkan komponen normal adalah keadaan eksitasi.

Komponen normal dan komponen superfluida tidak dapat dipisahkan secara fisik. Lapisan tipis superfluida dapat berosilasi dalam mode bunyi ketiga (*third sound*). Pada mode bunyi ketiga ini, komponen normal tidak mengalir karena viskositasnya. Sedangkan komponen superfluida

mengalir sejajar terhadap permukaan dasar wadah [3]. Mode bunyi ketiga ini mirip dengan fenomena gelombang air dangkal dan juga gelombang tsunami. Namun, gaya pemulihnya adalah gaya Van der Waals, bukanlah gaya gravitasi.

Penambahan energi pada mode arus persisten superfluida telah dilakukan oleh grup Henkel [2]. Dengan menambahkan atom helium pada lapisan tipis superfluida, momentum sudut arus persisten meningkat. Hasil ini, memotivasi kami untuk melakukan hal serupa terhadap mode bunyi ketiga. Penambahan energi pada mode bunyi ketiga ini berasal dari kondensasi atom helium pada lapisan tipis superfluida. Penambahan energi ini mengkompensasi disipasi pada mode bunyi ketiga. Jika penambahan energi lebih besar daripada energi disipasi, maka kita akan memperoleh kondisi osilasi diri (*self oscillation*). Osilasi diri ini teramati bila resiprok faktor kualitas mencapai angka nol. Energi disipasi dapat dipresentasikan sebagai resiprok faktor kualitas (*quality factor (Q)*) resonansi mode bunyi ketiga. Sehingga, tujuan eksperimen yang kami lakukan adalah mengamati perubahan faktor kualitas tersebut dengan penambahan atom helium pada lapisan tipis superfluida.

Energi disipasi terdiri atas kontribusi termal dan non termal. Kontribusi termal terdiri atas disipasi permukaan dasar wadah, gas helium, dan disipasi lateral akibat perbedaan temperatur pada bukit dan lembah gelombang. Kontribusi non termal terdiri atas radiasi pada resonator dan vorteks.

2. Resonator Mode Bunyi Ketiga

Mode bunyi ketiga dapat tereksitasi dengan menggunakan kapasitor. Secara kapasitif pula, kita dapat mendeteksinya. Sinyal yang dideteksi adalah osilasi sinyal gelombang radio modulasi frekuensi. Frekuensi tersebut adalah frekuensi resonansi induktor dan kapasitor yang terdapat dalam sel eksperimen. Susunan induktor dan kapasitor ini yang disebut sebagai resonator untuk mode bunyi ketiga seperti yang terlihat pada gambar 1. Untuk mengkompensasi disipasi resonansi LC, kami menggunakan Dioda Terowongan (*Tunnel Diode*) yang dapat dioperasikan pada resistansi negatif. Sehingga frekuensi resonansi LC sering disebut juga sebagai frekuensi Dioda Terowongan.



Gambar 1. Resonator untuk mode bunyi ketiga. Lempengan safir yang telah dilapisi lapisan tipis perak dan lempengan tembaga membentuk kapasitor lempeng sejajar. Susunan kapasitor ini bertumpu pada landasan kuningan. Kapasitor ini berfungsi sebagai pendorong lapisan tipis superfluida agar berosilasi. Selain itu, kapasitor ini juga berfungsi sebagai deteksi sinyal akibat osilasi ketebalan lapisan tipis superfluida di dalam celah kapasitor.

Kapasitor dibentuk oleh lempengan elektroda tembaga dan lempengan safir yang telah dilapisi oleh lapisan tipis perak. Lempengan tembaga berbentuk segi empat yang berada di bawah lempengan safir yang berbentuk lingkaran. Celah antara kedua lempengan tersebut menentukan sensitivitas deteksi sinyal. Demikian halnya dengan kebersihan celah tersebut dari kotoran debu apapun yang kemungkinan membuat kontak antara kedua lempengan. Sehingga, kami membuat lebar celah sedemikian rupa sehingga tidak terlalu sempit dan tidak terlalu lebar.

Lebar celah kapasitor pada suhu ruang tidak kurang dari $12 \mu\text{m}$. Ketebalan ini diuji dengan memasukkan lembaran kertas kapton ke dalam celah kapasitor. Dengan mengetahui geometris lempengan tembaga dan safir serta koefisien dielektrik ruang hampa dan cairan helium, maka kami dapat menghitung kapasitansi kapasitor

antara kedua lempengan tersebut.

Mode bunyi ketiga pada geometri silinder sesuai dengan geometri lempengan safir dapat berosilasi dengan mode simetris (S) dan asimetris (A). Mode simetris dan asimetris ini merujuk pada beda fase gelombang antara gelombang pada permukaan atas dan bawah lempengan safir.

3. Metode Penelitian

Untuk kebersihan celah dan peningkatan kualitas lempengan tembaga, maka kami melakukan perbaikan prosedur pemasangan komponen-komponen penyusun resonator. Secara keseluruhan, komponen resonator disusun di dalam ruang bersih. Ruangan ini menggunakan kipas yang menghembuskan angin ke arah bawah. Lempengan tembaga juga perlu diratakan permukaannya terutama yang berada di dalam celah kapasitor. Lempengan tembaga tersebut diratakan dengan menggunakan bubuk SiC.

Pengujian kebersihan celah kapasitor telah dilakukan dengan memasukkan nitrogen cair ke dalam sel eksperimen. Aliran nitrogen cair dihentikan pada saat ketinggian cairan Nitrogen lebih rendah daripada ketinggian lempengan tembaga. Sehingga, bila ada kotoran di dalam celah, maka kotoran debu tersebut dapat menarik cairan ke dalam celah kapasitor. Sehingga celah akan terisi dengan cairan nitrogen yang mengakibatkan perubahan kapasitansi. Perubahan kapasitansi ini dapat dideteksi dari perubahan resonansi frekuensi TD.

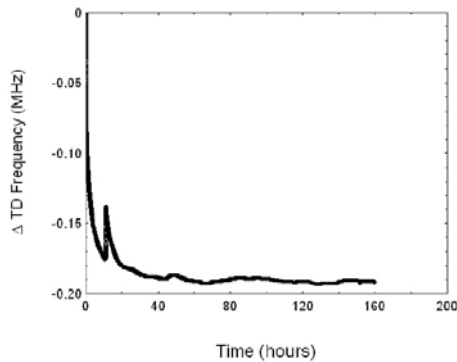
Eksperimen amplifikasi mode bunyi ketiga dilakukan pada temperatur $0,25 \text{ K}$ dengan tegangan pengekstasi 9 Volt dan lapisan tipis superfluida setebal $3,7 \text{ nm}$. Eksperimen juga dilakukan dengan daya pemanas yang berbeda-beda. Pemanas ini sebagai sumber helium atom yang nantinya akan terkondensasi ke lapisan tipis superfluida.

Sinyal mode bunyi ketiga ini tidak mulus karena terdapat banyak gangguan sinyal. Meskipun sinyal yang diperoleh berasal dari rata-rata sejumlah pengukuran. Namun, kami dapat melakukan fit kurva sesuai dengan persamaan resonansi untuk memperoleh data frekuensi dan faktor kualitasnya. Kami juga menghitung simpangan baku yang didapatkan dari simulasi sinyal resonansi berdasarkan data frekuensi dan faktor kualitas serta tingkat gangguan sinyal yang sama dengan yang didapatkan dari hasil eksperimen. Data frekuensi dan faktor kualitas resonansi mode bunyi ketiga dikumpulkan untuk eksperimen tanpa dan dengan kondensasi.

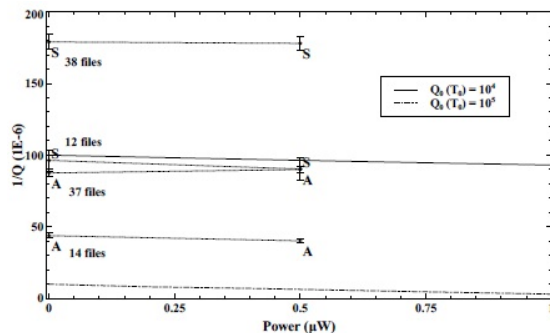
4. Hasil dan Pembahasan

Gambar 2 menunjukkan frekuensi resonansi

TD dalam fungsi waktu. Frekuensi resonansi akan berkurang pada saat cairan Nitrogen mulai dimasukkan ke dalam ruangan sel resonator. Pada saat ketinggian cairan yang dikehendaki tercapai, aliran cairan Nitrogen dihentikan. Pada saat itu, kita melihat pada gambar bahwa frekuensi TD relatif tidak banyak berubah. Hal ini menunjukkan tidak banyak perubahan kapasitas kapasitansi.



Gambar 2. Frekuensi Dioda Terowongan dalam fungsi waktu saat aliran nitrogen cairan ke dalam sel eksperimen dihentikan pada ketinggian cairan lebih rendah daripada ketinggian lempengan tembaga.



Gambar 3. Energi disipasi ($1/Q$) fungsi daya pemanas untuk mode bunyi ketiga simetris dan antisimetris. Perhitungan teori digambarkan dengan garis penuh dan titik-titik untuk faktor kualitas kecil dan besar.

Hasil eksperimen amplifikasi mode bunyi ketiga untuk berbagai daya pemanas ditunjukkan oleh gambar 3. Gambar tersebut menunjukkan resiprok faktor kualitas terhadap daya pemanas. Hasil perhitungan secara teori juga ditampilkan

dalam gambar. Mode resonansi simetris dan asimetris disimbolkan dengan lambang S dan A.

Semakin besar faktor kualitas resonansi mode bunyi ketiga semakin kecil energi disipasi. Sehingga osilasi diri akan lebih mudah tercapai dengan faktor kualitas resonansi yang besar. Semakin daya pemanas ditingkatkan, resiprok faktor kualitas semakin kecil. Namun, bila daya pemanas terus ditingkatkan, maka temperatur lapisan tipis superfluida akan bertambah. Hal ini akan menambah energi disipasi. Akibatnya, resiprok faktor kualitas akan kembali bertambah. Sehingga, besarnya faktor kualitas mode bunyi ketiga sebelum kondensasi sangat penting untuk eksperimen amplifikasi ini.

5. Kesimpulan

Pengujian kebersihan celah kapasitor menunjukkan bahwa tidak ada perubahan signifikan pada nilai kapasitansi setelah aliran cairan nitrogen dihentikan. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada kotoran debu yang dapat menarik cairan nitrogen ke dalam celah kapasitor.

Peningkatan kualitas celah kapasitor dan lempengan tembaga meningkatkan faktor kualitas. Namun, derau sinyal masih cukup tinggi meskipun sinyal yang dipakai adalah sinyal rata-rata dari sejumlah percobaan. Amplifikasi mode bunyi ketiga teramati pada saat pemanas dinyalakan. Namun kondisi osilasi diri belum dapat tercapai karena faktor kualitas tidak cukup besar.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada Wesleyan University yang telah memberikan dana dan fasilitas eksperimen. Terimakasih juga kepada Universitas Ahmad Dahlan yang telah memberikan dana untuk kelanjutan penulisan laporan eksperimen.

Daftar Pustaka

- [1] Tisza, L., Nature 141 (1938), p. 913
- [2] Henkel, R. P., E. N. S, and Reppy, J. D, Physical Review Letters 23 (1969)
- [3] Atkins, K., Physical Review 113 (1959), p. 962
- [4] D. R. Tilley, J. Tilley, *Superfluidity and Superconductivity*, Institute of Physics Publishing (1970)