

TECHNICAL REPORT

Karakterisasi Jenis Minuman Beralkohol Menggunakan Sensor ZnO-Ag



Disusun Oleh:

Dr. Ir. Amalia Sholehah, S.Si., M.Si.

Dr. Didied Haryono, S.T., M.T.

Rahman Faiz Suwandana, S.T., M.S.

Baggi Cahaya Restu Imron

JURUSAN TEKNIK METALURGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2024

RINGKASAN EKSEKUTIF

Minuman beralkohol merupakan salah satu jenis minuman yang telah beredar luas dan banyak dikonsumsi oleh masyarakat baik secara langsung maupun sebagai bahan aditif pada makanan dan minuman. Namun, konsumsi minuman beralkohol memiliki dampak terhadap kesehatan yang dapat berakibat pada kerusakan organ tubuh dan gangguan mental. Oleh karena itu, perlu adanya sensor yang dapat mendeteksi alkohol pada minuman beralkohol. Salah satu jenis sensor yang banyak diteliti adalah sensor kapasitif dengan bahan logam oksida. Seng oksida merupakan salah satu jenis logam oksida yang umum digunakan pada aplikasi sensor kapasitif. Sensor ZnO dapat disintesis dengan penambahan *doping* seperti Ag untuk meningkatkan sifat deteksinya. Pembuatan sensor ZnO-Ag dilakukan dengan membuat lapisan ZnO-Ag pada permukaan substrat PMMA. Metode yang digunakan adalah *spray coating* untuk tahap *seeding* dan *chemical bath deposition* untuk tahap *growing*. Hasil dari proses sintesis berupa bubuk ZnO-Ag dan lapisan ZnO-Ag kemudian diuji dengan pengujian SEM dan XRD. Hasil pengujian SEM menunjukkan bahwa terjadi pembentukan struktur nano berupa *nanoflakes* pada lapisan ZnO-Ag. Hasil citra EDX menunjukkan persebaran unsur penyusun ZnO-Ag yang tersebar merata. Pengujian XRD menunjukkan pola difraksi yang sesuai dengan JCPDS 079-0208 untuk ZnO dan JCPDS 04-0783 untuk Ag. Hasil struktur kristal ZnO-Ag adalah *wurtzite*. Lapisan yang telah terbentuk kemudian difabrikasi menjadi sensor. Sensor seng oksida yang telah dibuat kemudian dilakukan pengujian performa pada VNA dengan frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz dengan sampel udara dan air. Berdasarkan pengukuran, dihasilkan nilai impedansi yang fluktuatif. Nilai impedansi mengalami peningkatan pada frekuensi 100 kHz hingga 850 MHz serta pada rentang frekuensi 2000 MHz hingga 3000 MHz dan mengalami penurunan pada frekuensi di antara 850 MHz hingga 2000 MHz dan antara 3000 MHz hingga 6000 MHz. Pada rentang frekuensi dimana impedansi mengalami penurunan, nilai impedansi udara berada lebih tinggi dibandingkan dengan air. Pengukuran untuk karakterisasi dilakukan dengan sampel minuman beralkohol seperti *rum*, *beer*, *angchu*, *white wine*, dan *red wine*. Nilai impedansi yang terukur dari sampel *rum*, *beer*, *angchu*, *white wine* dan *red wine* pada frekuensi 2008 MHz adalah 0,095; 0,0786; 0,2253; 0,1795; 0,2852 Ohm. Nilai kapasitansi terukur untuk *rum*, *beer*, *angchu*, *white wine* dan *red wine* pada frekuensi 2008 MHz adalah $1,613 \times 10^{-9}$, $1,297 \times 10^{-9}$, $4,311 \times 10^{-9}$, $4,679 \times 10^{-9}$, $2,832 \times 10^{-9}$ Farad.

Kata Kunci: Alkohol, Semikonduktor, ZnO-Ag, Impedansi dan kapasitansi.

1. LATAR BELAKANG

Alkohol merupakan salah satu jenis senyawa kimia yang telah beredar luas dan banyak dikonsumsi oleh masyarakat baik secara langsung maupun pada makanan dan minuman. Namun, konsumsi alkohol memiliki dampak terhadap kesehatan yang dapat berakibat pada kerusakan organ tubuh dan gangguan mental. Alkohol pada bahan konsumsi seperti makanan dan minuman dapat diidentifikasi berdasarkan bau dan rasa yang khas. Namun, pada kondisi dan aplikasi tertentu dimana karakteristik fisik yang khas ini dapat berubah-ubah maka karakteristik tersebut tidak dapat dijadikan sebagai alat ukur dalam proses identifikasi. Oleh karena itu, diperlukan adanya pengujian yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi alkohol di dalam makanan dan minuman. Salah satu bentuk pengujian yang dapat digunakan adalah memanfaatkan aplikasi dari sensor.

Sensor dapat digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan sifat tertentu dari suatu lingkungan dan kemudian memberikan respons terhadap lingkungan yang dideteksi. Sensor yang umum digunakan saat ini adalah sensor yang memanfaatkan sifat kelistrikan yang dihasilkan oleh material tertentu untuk dapat mengidentifikasi material tersebut. Salah satu aplikasi dari sensor yang umum digunakan dalam mendeteksi alkohol adalah *breathalyzer* yang dapat digunakan untuk mendeteksi banyaknya alkohol yang berada pada udara berdasarkan perubahan sifat listrik yang dihasilkan. Namun, alat ini digunakan untuk mendeteksi adanya kandungan alkohol dalam jumlah tertentu di udara. Sedangkan minuman beralkohol secara umum terdapat dalam bentuk cairan. Pengujian yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi minuman beralkohol dalam bentuk cairan masih terbatas pada

pengujian skala laboratorium yang membutuhkan sumber daya yang cukup banyak. Sehingga dibutuhkan adanya sensor yang dapat digunakan untuk proses identifikasi minuman beralkohol dalam bentuk cair.

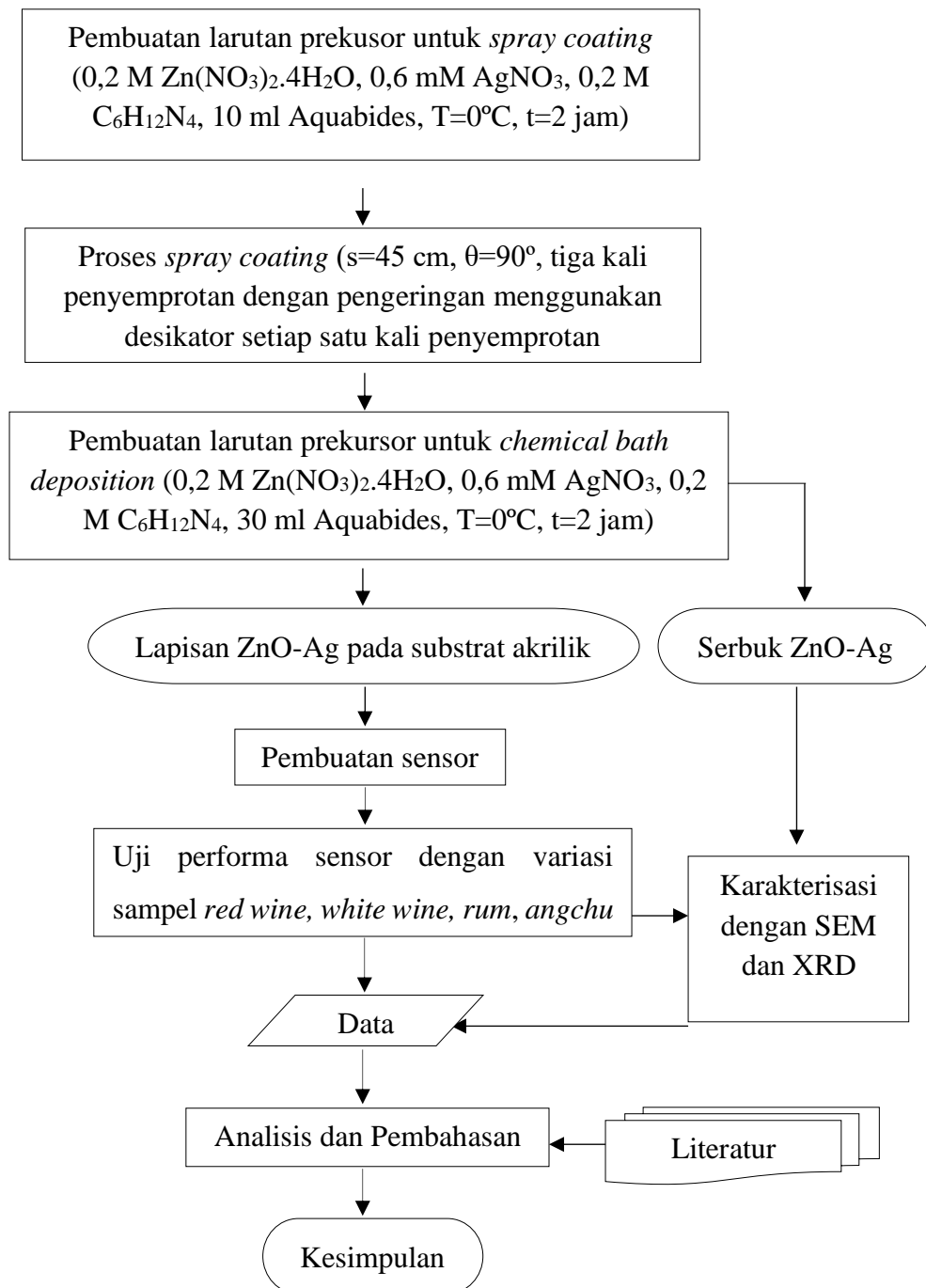
Sensor seng oksida (ZnO) merupakan salah satu jenis sensor yang dapat digunakan untuk aplikasi tersebut. Sensor seng oksida umumnya digunakan dalam mendeteksi adanya molekul gas maupun cairan tertentu pada kondisi atmosfer ambien. Seng oksida memiliki beberapa karakteristik yang sesuai untuk digunakan sebagai sensor yaitu sifat deteksi yang baik, ramah lingkungan, mudah disintesis dan harga yang murah. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Hamid Reza Yousefi, karakteristik dan sifat deteksi dari sensor seng oksida dapat ditingkatkan dengan penambahan *dopant* berupa unsur perak (Ag). Karakteristik dari perak di antaranya adalah memiliki sifat konduktivitas listrik dan sifat katalis yang baik. Penambahan unsur Ag dapat meningkatkan sifat sensitivitas dan selektivitas pada sensor ZnO terhadap unsur tertentu.

Penelitian ini dilakukan dengan membuat sensor ZnO pada substrat *polymethyl methacrylate* (PMMA). Proses pembuatan sensor dilakukan menggunakan metode *spray coating* dan *chemical bath deposition*, di mana substrat *polymethyl methacrylate* (PMMA) akan dilapisi dengan ZnO-Ag sehingga dihasilkan sensor ZnO-Ag. Sensor ZnO-Ag yang telah dibuat kemudian akan dikarakterisasi dan digunakan untuk mengukur dan nilai kapasitansi, impedansi dan frekuensi resonansi dari beberapa jenis minuman beralkohol hasil fermentasi karbohidrat sederhana atau gula di antaranya adalah *red wine*, *white wine*, *brandy* dan *rum*. Nilai impedansi dan kapasitansi yang terukur kemudian digunakan untuk mengidentifikasi jenis minuman beralkohol tersebut.

Berdasarkan uraian di atas, sensor ZnO-Ag merupakan kandidat yang baik untuk mengidentifikasi jenis minuman beralkohol seperti *red wine*, *white wine*, *rum*, *angchu* dan *beer* berdasarkan sifat kelistrikan yang dihasilkan. Proses identifikasi dilakukan dengan mengukur impedansi dan kapasitansi yang dihasilkan dari pengujian terhadap sampel minuman beralkohol.

2. METODE PENDEKATAN

Prosedur percobaan untuk penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir

3. HASIL DAN DISKUSI

Fabrikasi Sensor

Sensor ZnO-Ag yang digunakan pada penelitian ini dibuat berupa lapisan ZnO-Ag yang ditumbuhkan pada permukaan substrat *polymethyl metacrylate* (PMMA). Pembuatan lapisan ZnO-Ag dilakukan melalui metode *spray coating* dan *chemical bath deposition*. *Spray coating* dilakukan sebagai metode untuk tahap *seeding* atau pembibitan dengan menyebarkan partikel prekursor yang kemudian dapat terperangkap pada permukaan PMMA dan membentuk lapisan. Partikel prekursor ini dapat bertindak sebagai inti tempat pertumbuhan lapisan pada tahap *growing*. Sementara, *chemical bath deposition* dilakukan untuk tahap *growing* atau pertumbuhan lapisan ZnO-Ag yang telah dideposisikan sebelumnya pada tahap *seeding*. Substrat dengan lapisan *seeding* akan direndam dalam larutan prekursor sehingga dihasilkan lapisan yang lebih tebal.

Setelah dilakukan proses sintesis, permukaan substrat yang telah dilapisi oleh ZnO-Ag kemudian diberi logam elektroda berupa tembaga dengan pola yang telah ditentukan sebelumnya. Sensor yang telah dibuat kemudian difabrikasi dengan menghubungkan sensor dengan kabel koaksial yang diletakkan pada *chamber*. Kabel disambungkan dengan *port* BNC. Permukaan sensor kemudian diberi cat diton untuk melapisi dan melindungi lapisan ZnO-Ag pada sensor.

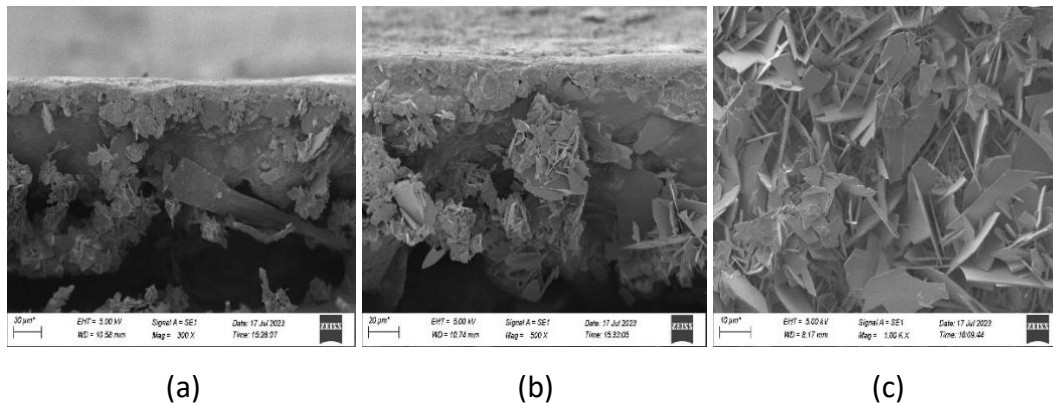


Gambar 2 Sensor Semikonduktor ZnO-Ag setelah Fabrikasi

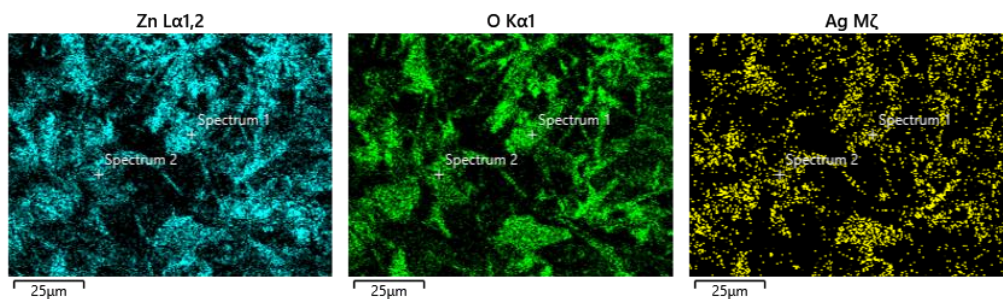
Hasil Pengujian SEM-EDX

Sampel bubuk ZnO-Ag hasil sintesis telah dilakukan pengujian dengan SEM-EDX. Hasil pengujian yang dilakukan dapat diamati pada Gambar 3. Gambar tersebut menunjukkan citra pada pengukuran 300x, 500x, dan 1000x. Pada pembesaran 300x dan 500x, gambar diambil dari samping dan menunjukkan penumpukan dan pengendapan ZnO-Ag. Pada beberapa lokasi, terdapat penumpukan struktur seperti serpihan tipis datar menyerupai struktur *nanoflakes*. Struktur ini terlihat lebih jelas pada pembesaran 1000x. Pembentukan struktur *nanoflakes* dapat dipengaruhi dari reaksi awal ion Zn^{+} dan OH^{-} dalam air. Konsentrasi Zn^{+} dapat membentuk nuklei ZnO yang menyebabkan terjadinya agregasi untuk membentuk partikel berukuran kecil yang kemudian dapat menyatu menjadi *nanosheet* melalui pertumbuhan terorientasi. Struktur *nanosheet* ZnO dapat menghasilkan sensitivitas yang baik terhadap etanol, metanol, aseton dan formaldehida (Kaneti *et al.*, 2013). Pengujian SEM-EDX juga menghasilkan gambar pemetaan untuk unsur penyusun pada sampel yang dapat diamati pada Gambar 4 sebagai berikut. Unsur Zn ditandai dengan warna biru muda, Unsur O dengan

warna hijau dan unsur Ag ditunjukkan dengan warna kuning. Gambar tersebut menunjukkan adanya keberadaan unsur Zn, O dan Ag pada sampel ZnO-Ag.



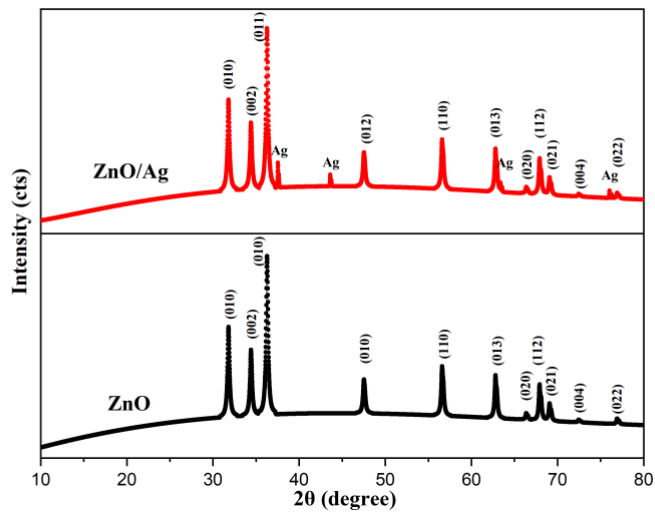
Gambar 2 Sampel ZnO-Ag pada Pembesaran 300x (a), 500x (b), dan 1000x (c)



Gambar 3 Pemetaan Unsur pada Sample ZnO-Ag

Hasil Pengujian XRD

Pada pengujian dengan teknik XRD didapatkan data berupa pola difraksi untuk ZnO-Ag yang dapat diamati pada Gambar 5. Pada gambar tersebut, ditunjukkan pola grafik untuk ZnO dan ZnO-Ag. Berdasarkan referensi JCPDS no. 79-0208 untuk ZnO, struktur yang dihasilkan berupa struktur *wurtzite* dengan bidang kristal (001), (002), (011), (012), (110), (013), (112), (021), (004), (014). Titik puncak dihasilkan pada 2θ dengan nilai $31,8^\circ$, $34,4^\circ$, $36,3^\circ$, $47,6^\circ$, $56,5^\circ$, $62,9^\circ$, $66,5^\circ$, $68,1^\circ$, $69,2^\circ$, dan $72,6^\circ$. Sementara JCPDS no. 04-0783 untuk Ag, diamati adanya puncak dengan intensitas yang lebih rendah pada sudut $37,5^\circ$, $43,7^\circ$, $63,3^\circ$, dan $76,0^\circ$.

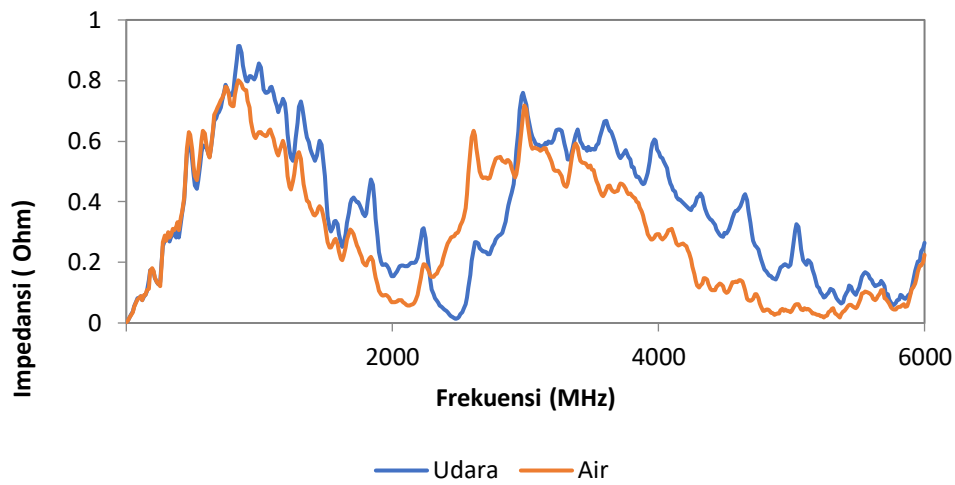


Gambar 5 Difraktogram untuk ZnO/Ag dan ZnO

Uji Performa Sensor

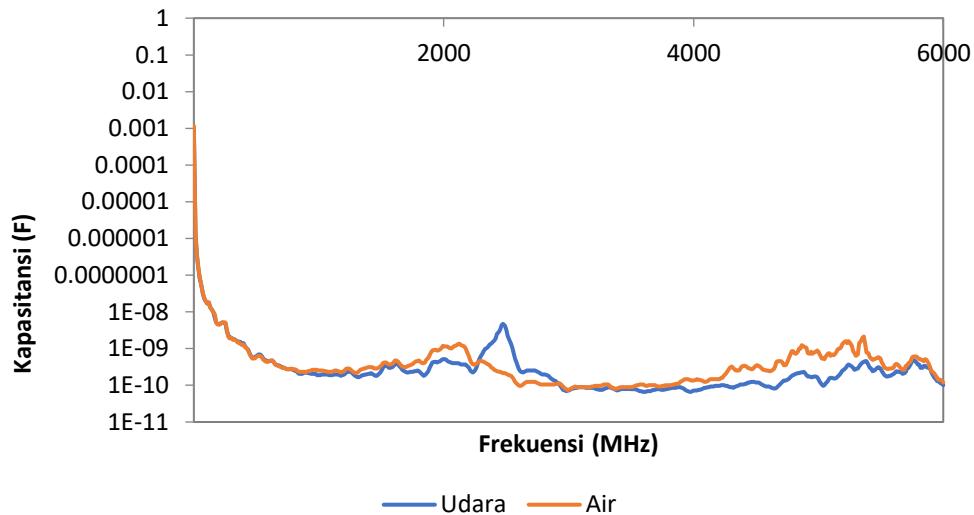
Sensor yang telah difabrikasi kemudian dilakukan pengujian performa menggunakan VNA. Pengujian ini dilakukan dengan mengukur sensor ZnO-Ag menggunakan media ukur berupa udara, air dan etanol. Data hasil pengukuran kemudian diolah menggunakan Microsoft Excel untuk mendapatkan nilai impedansi dan kapasitansi. Grafik nilai impedansi dan kapasitansi untuk udara dan air pada rentang frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz dapat diamati pada Gambar 6. Pada grafik tersebut nilai impedansi dari air dan udara mengalami perubahan yang fluktuatif. Pada pengukuran dengan udara dan air, tren grafik mengalami peningkatan nilai impedansi pada rentang frekuensi 100 kHz hingga 850 MHz serta pada rentang frekuensi 2000 MHz hingga 3000 MHz. Sementara grafik mengalami penurunan pada frekuensi di antara 850 MHz hingga 2000 MHz dan antara 3000 MHz hingga 6000 MHz. Nilai impedansi mengalami peningkatan dan penurunan seiring dengan meningkatnya frekuensi. Nilai impedansi memiliki bagian *real* berupa resistansi dan bagian *imaginer* berupa reaktansi. Pada perangkat yang bersifat kapasitif, nilai impedansi menurun dengan meningkatnya frekuensi. Hal ini karena

nilai reaktansi kapasitatif mengalami penurunan dan nilainya lebih berpengaruh pada impedansi dibandingkan dengan reaktansi induktif.



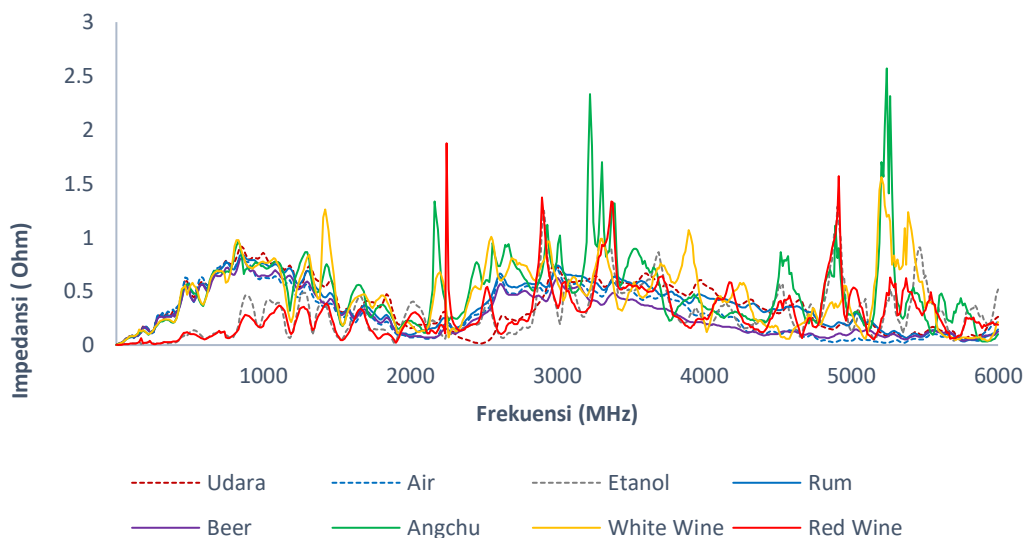
Gambar 6 Perbandingan Impedansi Udara & Air pada Frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz

Udara memiliki nilai impedansi lebih tinggi dari air pada rentang frekuensi ketika impedansi mengalami penurunan. Sebaliknya, pada rentang frekuensi dimana impedansi mengalami peningkatan, nilai impedansi udara menjadi lebih rendah dibandingkan dengan air. Impedansi menunjukkan resistansi terhadap arus listrik oleh suatu material. Cairan seperti air dapat menghantarkan muatan secara bebas, sehingga dapat dihasilkan impedansi yang rendah atau resistansi terhadap arus listrik. Udara pada ruang merupakan konduktor listrik yang buruk sehingga memiliki nilai impedansi yang tinggi diakibatkan karena resistansi yang lebih besar (Peterson, 2022). Nilai kapasitansi mengalami penurunan seiring dengan peningkatan frekuensi hingga menjadi lebih stabil disepanjang frekuensi pada nilai kapasitansi 1×10^{-9} hingga 1×10^{-10} F.

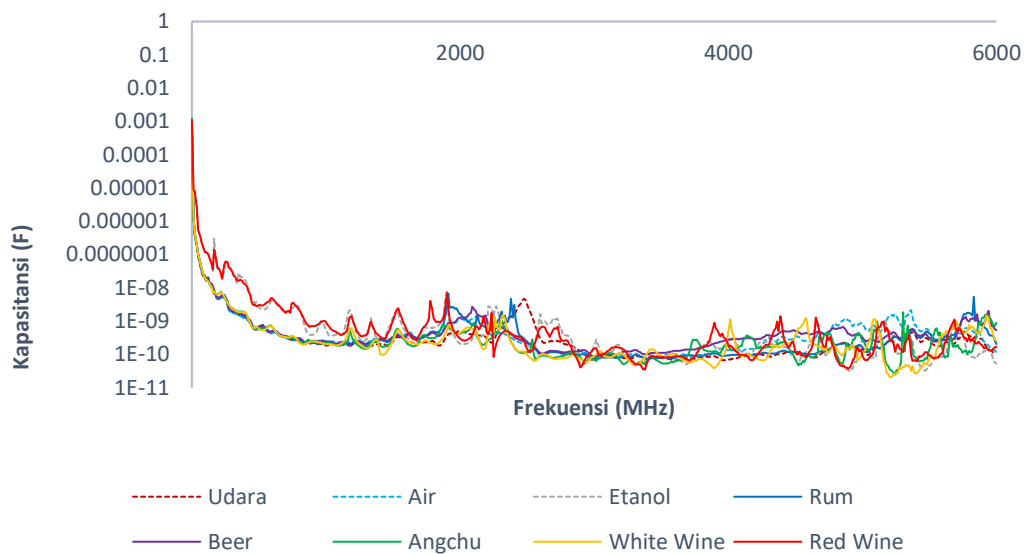


Gambar 7 Perbandingan Kapasitansi Udara dan Air pada Frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz

Selanjutnya sensor diuji menggunakan sampel minuman beralkohol terdiri dari *rum*, *beer*, *angchu*, *red wine*, dan *white wine*. Hasil pengukuran yang telah dilakukan kemudian diubah ke dalam bentuk impedansi dan kapasitansi yang dapat diamati pada Gambar 8 dan 9 sebagai berikut.

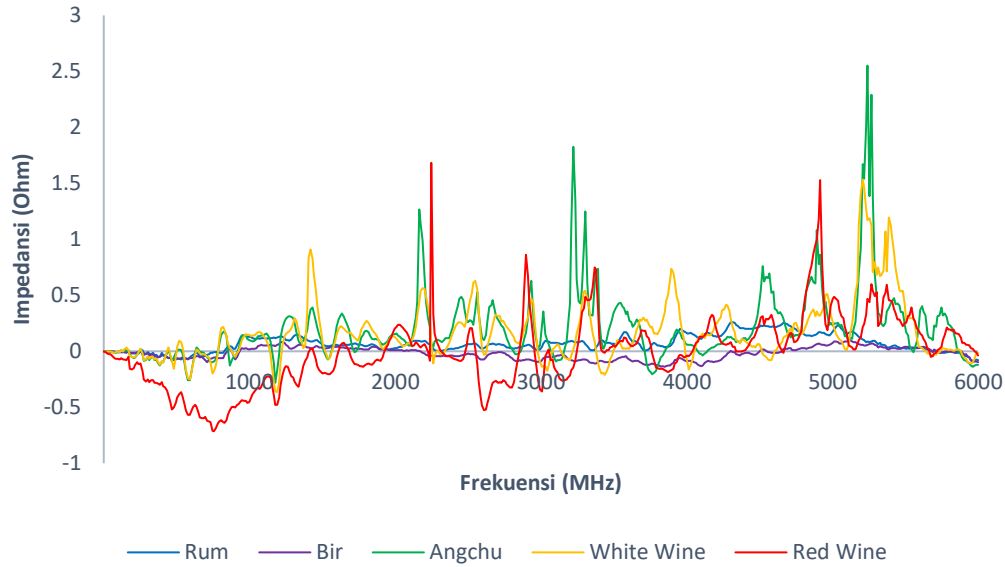


Gambar 8 Perbandingan Impedansi Udara, Air, Etanol dan Minuman Beralkohol pada Frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz

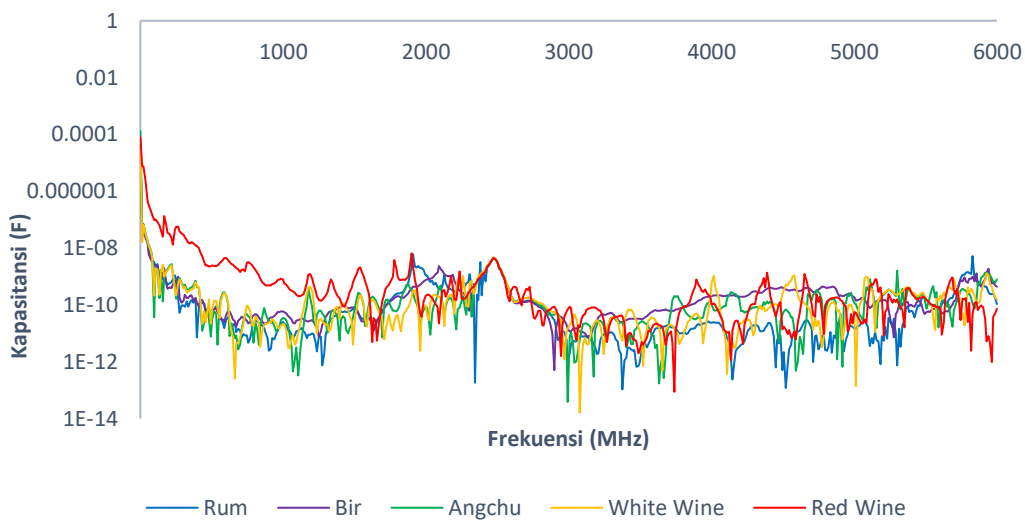


Gambar 9 Perbandingan Kapasitansi Udara, Air, Etanol dan Minuman Beralkohol pada Frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz

Pada grafik tersebut, nilai impedansi untuk setiap media uji mengalami tren yang serupa dan berada pada rentang di bawah sekitar 1 Ohm. Pada titik frekuensi tertentu, nilai impedansi untuk beberapa sampel mengalami peningkatan yang cukup tinggi dibandingkan dengan nilai impedansi lainnya sehingga membentuk puncak atau *peak* pada grafik. Puncak umumnya terbentuk pada frekuensi yang lebih tinggi. *White wine* menghasilkan puncak impedansi yang signifikan pada frekuensi 1431, 2176, 3908, 5218 dan 5411 MHz. *Angchu* menunjukkan puncak pada frekuensi 2164, 3222, 3307, 4545 dan 5267 MHz. Sedangkan untuk *red wine*, puncak dihasilkan pada frekuensi 2249, 2898, 3367 dan 4918 MHz. Rum dan bir tidak menunjukkan puncak yang signifikan pada grafik. Pada frekuensi di bawah 2000 MHz, setiap pengukuran kecuali etanol dan *red wine* mengalami kenaikan nilai impedansi hingga pada frekuensi 1000 MHz dimana impedansi mengalami penurunan.



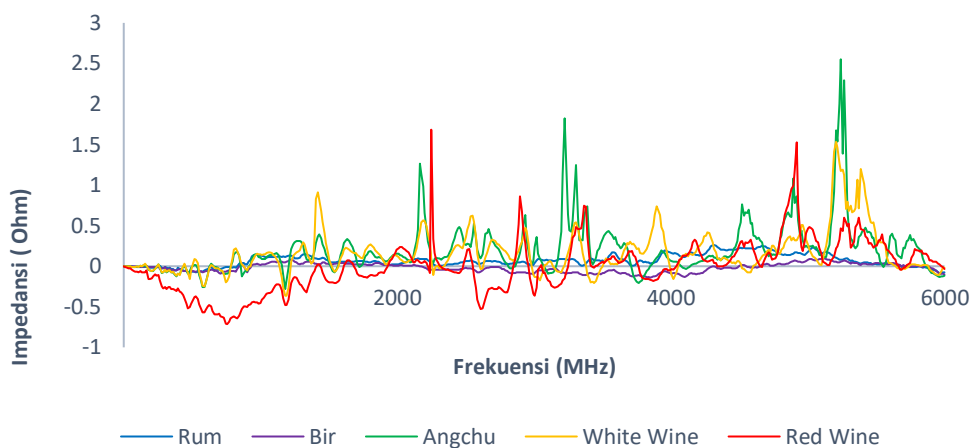
Gambar 10 Impedansi *Rum, Beer, Angchu, Red wine, dan White wine* Normalisasi dengan Udara pada Frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz



Gambar 11 Kapasitansi *Rum, Beer, Angchu, Red wine, dan White wine* Normalisasi dengan Udara pada Frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz

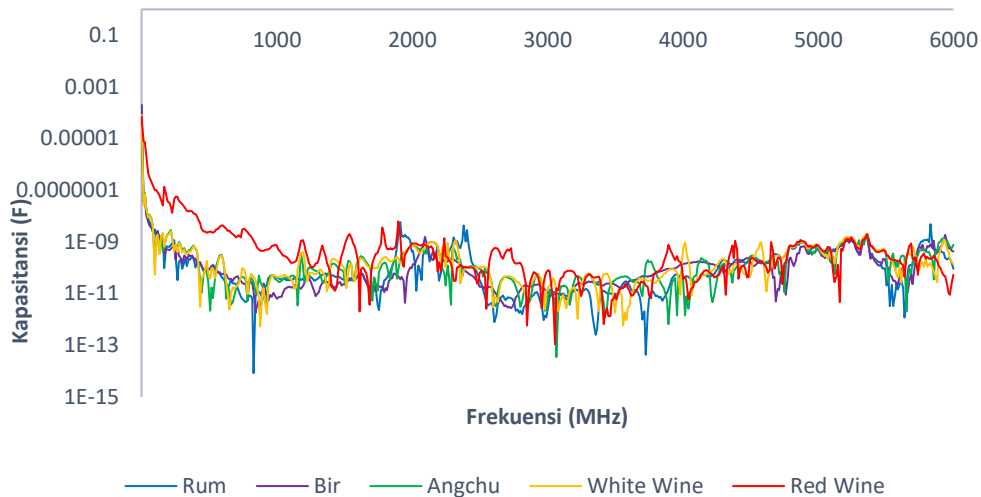
Pada grafik ini, data impedansi untuk semua sampel telah dinormalisasi dengan data pengukuran udara. Normalisasi ini dilakukan untuk mengeliminasi pengaruh impedansi yang

dihasilkan oleh udara terhadap nilai impedansi setiap sampel. Berdasarkan grafik yang dihasilkan, sampel untuk *rum* dan *beer* memiliki nilai impedansi yang lebih stabil dibandingkan dengan sampel lainnya. Sementara sampel lain seperti *angchu* dan *wine* memiliki grafik yang lebih fluktuatif terhadap udara. Sampel seperti *red wine* memiliki nilai impedansi yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan sampel lainnya. Pada Gambar 12 dan 13, ditampilkan hubungan impedansi dan kapasitansi untuk setiap sampel dan telah dinormalisasi dengan nilai impedansi air. Nilai impedansi untuk sampel *rum*, *angchu*, dan *white wine* berada lebih tinggi diatas impedansi air pada rentang frekuensi diatas 1000 MHz hingga 6000 MHz. Sementara *beer* menghasilkan nilai impedansi yang lebih rendah pada rentang frekuensi tersebut dan *red wine* menghasilkan nilai impedansi yang lebih fluktuatif.



Gambar 12 Grafik Impedansi *Rum*, *Beer*, *Angchu*, *Red Wine*, dan *White Wine* Hasil

Normalisasi dengan Air pada Frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz



Gambar 13 Grafik Kapasitansi *Rum, Beer, Angchu, Red Wine, dan White Wine* Normalisasi dengan Air pada Frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz

Nilai kapasitansi yang dihasilkan dari grafik normalisasi udara dan air memiliki bentuk yang hampir serupa dengan grafik impedansi. Hal ini disebabkan karena nilai kapasitansi didapatkan dari perhitungan dengan nilai impedansi. Hubungan antara impedansi dan kapasitansi dapat diamati pada Persamaan 1(Kumar *et al.*, 2015).

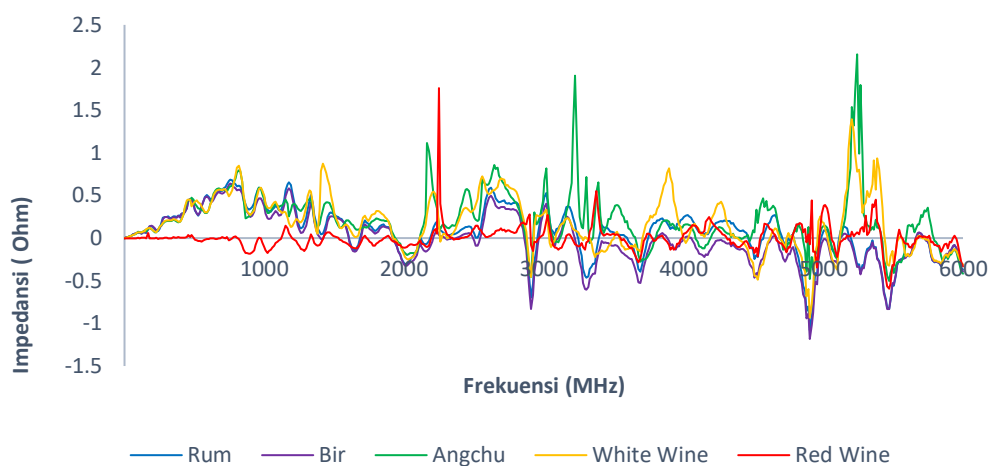
$$C = \frac{1}{2\pi fZ} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana C merupakan nilai kapasitansi, f merupakan frekuensi dan Z adalah impedansi. Berdasarkan persamaan tersebut, semakin tinggi nilai impedansi dan frekuensi kerja, maka nilai kapasitansi menjadi semakin kecil.

Pada Gambar 14 dan 15 ditunjukkan hasil impedansi dan kapasitansi untuk setiap sampel yang telah dinormalisasi dengan data etanol. Etanol yang digunakan memiliki tingkat kemurnian 98%. Nilai impedansi dari sampel menghasilkan nilai yang cenderung lebih tinggi dari nilai impedansi etanol dengan perbedaan pada nilai impedansi untuk sampel *red wine*. Nilai impedansi terendah diamati pada *red wine* yang hampir serupa dengan etanol, diikuti dengan *bir, white wine, angchu,* dan *rum* pada frekuensi di bawah 3000 MHz. Pada frekuensi

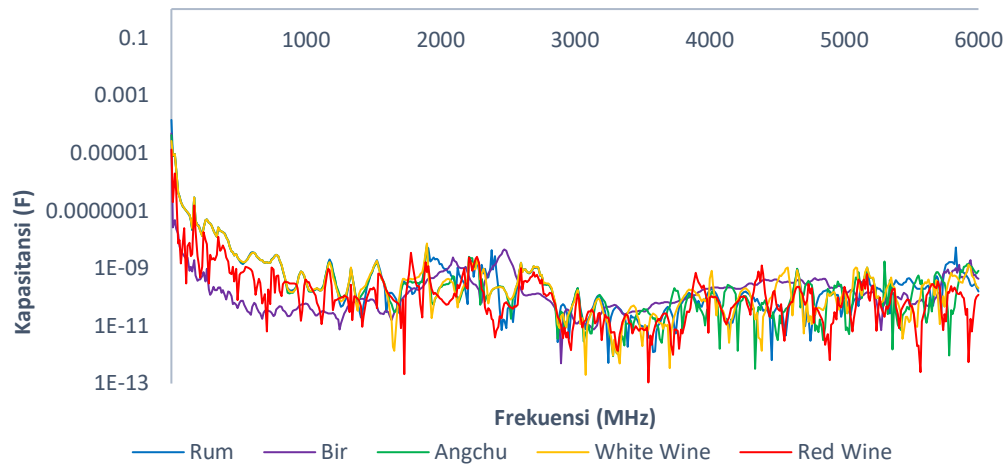
yang lebih tinggi, nilai impedansi menjadi lebih tidak stabil dan fluktuatif. Hal serupa juga diamati pada grafik untuk nilai kapasitansi. *Rum* dan bir menghasilkan grafik kapasitansi yang lebih stabil. Pada frekuensi yang lebih rendah, *rum* dan bir menghasilkan nilai kapasitansi terendah diikuti *red wine* kemudian *white wine* dan *angchu* dengan nilai kapasitansi tertinggi.

Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan oleh Schmidt dkk pada 2016, didapatkan bahwa nilai impedansi untuk etanol lebih tinggi dibandingkan dengan impedansi dari air namun lebih rendah dari udara. Peningkatan konsentrasi etanol juga meningkatkan impedansi yang dihasilkan. Hal ini dapat disebabkan karena etanol atau alkohol bersifat kurang polar dan ion-ion yang terkandung lebih sulit untuk terdisosiasi sehingga konduktifitasnya lebih rendah dibandingkan dengan air.



Gambar 14 Grafik Impedansi *Rum*, *Beer*, *Angchu*, *Red Wine*, dan *White Wine* Hasil

Normalisasi dengan Etanol pada Frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz



Gambar 15 Grafik Kapasitansi *Rum, Beer, Angchu, Red Wine, dan White Wine* Hasil

Normalisasi dengan Etanol pada Frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa dan pembahasan berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sensor ZnO-Ag berhasil difabrikasi dengan metode *spray coating* dan *chemical bath deposition* menghasilkan lapisan ZnO-Ag pada substrat PMMA. Pengukuran nilai impedansi pada rentang frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz dilakukan dengan menggunakan VNA untuk sampel minuman beralkohol *rum, beer, angchu, white wine* dan *red wine*.
2. Pada pengukuran sensor dengan udara, air dan etanol, didapatkan bentuk grafik impedansi udara dan air lebih stabil dibandingkan dengan etanol. Udara memiliki impedansi yang lebih tinggi dari air pada frekuensi 850 MHz - 2000 MHz dan 3000 MHz - 6000 MHz.
3. Berdasarkan pengukuran yang dilakukan, didapatkan nilai impedansi dan kapasitansi. Nilai impedansi terukur untuk *rum, beer, angchu, white wine* dan *red wine* pada frekuensi 2008 MHz adalah 0,095; 0,0786; 0,2253; 0,1795; 0,2852 Ohm.
4. Nilai kapasitansi terukur untuk *rum, beer, angchu, white wine* dan *red wine* pada frekuensi 2008 MHz adalah $1,613 \times 10^{-9}$, $1,297 \times 10^{-9}$, $4,311 \times 10^{-9}$, $4,679 \times 10^{-9}$, $2,832 \times 10^{-9}$ Farad.

Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya agar dapat dikembangkan dengan hasil yang optimal sebagai berikut:

1. Melakukan pengukuran sensor ZnO-Ag dengan frekuensi yang lebih rendah dengan rentang frekuensi tertentu.
2. Menggunakan metode *seeding* lain seperti *spin coating* dan untuk pembentukan lapisan ZnO-Ag.
3. Melakukan pengukuran pada kondisi pengukuran tertentu untuk meminimalisir efek dari lingkungan terhadap hasil pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

Abdul Hamid, H., Lockman, Z., & Abdul Razak, K. (2018). Properties of Zinc Oxide Nanorods as Ethanol Sensor. *Journal of Physics: Conference Series*, 1083(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1083/1/012039>

Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Alcoholic Beverages*.

Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela, & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. In *Critical Reviews in Analytical Chemistry* (Vol. 45, Issue 4, pp. 289–299). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>

Chae, Y., Kathalingam, A., Ambika, N., Kim, M. R., Elanchezhian, J., Chae, Y. S., & Rhee, J. K. (2010). Chemical bath deposition and characterization of nanocrystalline ZnO thin films. In *Materials Science-Poland* (Vol. 28, Issue 2). <https://www.researchgate.net/publication/230777305>

Feng, W., Wang, B., Huang, P., Wang, X., Yu, J., & Wang, C. (2016). Wet chemistry synthesis of ZnO crystals with hexamethylenetetramine(HMTA): Understanding the role of HMTA in the formation of ZnO crystals. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 41, 462–469. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2015.10.017>

Franco, M. A., Conti, P. P., Andre, R. S., & Correa, D. S. (2022). A review on chemiresistive ZnO gas sensors. *Sensors and Actuators Reports*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.snr.2022.100100>

Gai, L. Y., Lai, R. P., Dong, X. H., Wu, X., Luan, Q. T., Wang, J., Lin, H. F., Ding, W. H., Wu, G. L., & Xie, W. F. (2022). Recent advances in ethanol gas sensors based on metal oxide semiconductor heterojunctions. In *Rare Metals* (Vol. 41, Issue 6, pp. 1818–1842). University of Science and Technology Beijing. <https://doi.org/10.1007/s12598-021-01937-4>

Goswami, M., Adhikary, N. C., & Bhattacharjee, S. (2018). Effect of annealing temperatures on the structural and optical properties of zinc oxide nanoparticles prepared by chemical precipitation method. *Optik*, 158, 1006–1015. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.12.174>

Hu, X., & Yang, W. (2010). Planar capacitive sensors - Designs and applications. *Sensor Review*, 30(1), 24–39. <https://doi.org/10.1108/02602281011010772>

Jakabová, S., Fikselová, M., Mendelová, A., Ševčík, M., Jakab, I., Aláčková, Z., Kolačková, J., & Ivanova-Petropulos, V. (2021). Chemical composition of white wines produced from different

grape varieties and wine regions in Slovakia. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(22). <https://doi.org/10.3390/app112211059>

Jha, S., Wang, X. H., & Faber, H. (2017). Touch sensor application of spray deposited ZnO films. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 1412–1416. <https://doi.org/10.1109/ISIE.2017.8001452>

Jing, Z., & Zhan, J. (2008). Fabrication and gas-sensing properties of porous ZnO nanoplates. *Advanced Materials*, 20(23), 4547–4551. <https://doi.org/10.1002/adma.200800243>

Kaneti, Y. v., Yue, J., Jiang, X., & Yu, A. (2013). Controllable synthesis of ZnO nanoflakes with exposed (1010) for enhanced gas sensing performance. *Journal of Physical Chemistry C*, 117(25), 13153–13162. <https://doi.org/10.1021/jp404329q>

Kannan, M. (2018). *Scanning Electron Microscopy: Principle, Components and Applications*.

Kolodziejczak-Radzimska, A., & Jesionowski, T. (2014). Zinc oxide—from synthesis to application: A review. In *Materials* (Vol. 7, Issue 4, pp. 2833–2881). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ma7042833>

Krebs, F. C. (2009). Fabrication and processing of polymer solar cells: A review of printing and coating techniques. In *Solar Energy Materials and Solar Cells* (Vol. 93, Issue 4, pp. 394–412). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2008.10.004>

Kumar, D., Banerjee, A., Patil, S., & Shukla, A. K. (2015). *A 1 V supercapacitor device with nanostructured graphene oxide/polyaniline composite materials*.

Li, P., Yu, S., & Zhang, H. (2021). Preparation and performance analysis of ag/zno humidity sensor. *Sensors (Switzerland)*, 21(3), 1–9. <https://doi.org/10.3390/s21030857>

Moreno-Arribas, M. V., & Polo, M. C. (2009). Wine chemistry and biochemistry. In *Wine Chemistry and Biochemistry*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74118-5>

Mugle, D., & Jadhav, G. (2016). Short review on chemical bath deposition of thin film and characterization. *AIP Conference Proceedings*, 1728. <https://doi.org/10.1063/1.4946648>

Nemzer, B., Kalita, D., Yashin, A. Y., & Yashin, Y. I. (2022). Chemical Composition and Polyphenolic Compounds of Red Wines: Their Antioxidant Activities and Effects on Human Health—A Review. In *Beverages* (Vol. 8, Issue 1). MDPI. <https://doi.org/10.3390/beverages8010001>

Onyekwelu, K. (2019). Ethanol. In *Psychology of Health - Biopsychosocial Approach*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79861>

Özgür, Ü., Alivov, Y. I., Liu, C., Teke, A., Reshchikov, M. A., Doğan, S., Avrutin, V., Cho, S. J., & Morkoç, H. (2005). A comprehensive review of ZnO materials and devices. In *Journal of Applied Physics* (Vol. 98, Issue 4, pp. 1–103). <https://doi.org/10.1063/1.1992666>

Pecić, S., Despotovic, S., Leskosek, I., & Tešević, V. (2011). *The sensory properties of special brandy with Ganoderma lucidum Investigating the chemical characteristic of traditional Serbian spirits and examining the possibility to protect intellectual property of traditional products View project Molecular and phytochemical diversity of Juniperus in the Balkans View project*. <https://www.researchgate.net/publication/282671836>

Peterson, D. M., Beal, E. W., Reader, B. F., Dumond, C., Black, S. M., & Whitson, Bryan. A. (2022). Electrical Impedance as a Noninvasive Metric of Quality in Allografts Undergoing Normothermic Ex Vivo Lung Perfusion. *ASAIO Journal*, 68(7), 964–971. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001591>

Prihandana, R. (2007). *Bioetanol ubi kayu : bahan bakar masa depan* (M. T. Nixon, Ed.). Agro Media Pustaka.

Saadon, R., & Abdul Azeez, O. (2014). Chemical route to synthesis hierarchical ZnO thick films for sensor application. *Energy Procedia*, 50, 445–453. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.054>

Sampaio, O. M., Reche, R. V., & Franco, D. W. (2008). Chemical profile of rums as a function of their origin. The use of chemometric techniques for their identification. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(5), 1661–1668. <https://doi.org/10.1021/jf0726841>

Sayed, M., & Martens, J. (2007). Vector network analyzers. In *Modern RF and Microwave Measurement Techniques* (Vol. 9781107036413, pp. 98–129). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139567626.006>

Schneller, T., Waser, R., Kosec Marija, & Payne, D. (2013.). *Chemical Solution Deposition of Functional Oxide Thin Films*.

Sherazi, T. A. (2014). Spray Coating. In *Encyclopedia of Membranes* (pp. 1–2). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40872-4_552-1

Terzic, E., Terzic, J., Nagarajah, R., & Alamgir, M. (2012). Capacitive Sensing Technology. In *A Neural Network Approach to Fluid Quantity Measurement in Dynamic Environments* (pp. 11–37). Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4060-3_2

Thomas, M. A., Sun, W. W., & Cui, J. B. (2012). Mechanism of Ag Doping in ZnO Nanowires by Electrodeposition: Experimental and Theoretical Insights. *The Journal of Physical Chemistry C*, *116*(10), 6383–6391. <https://doi.org/10.1021/jp2107457>

Webster, J. G., & Eren, H. (Eds.). (2017). *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b15474>

Xu, J., Han, J., Zhang, Y., Sun, Y., & Xie, B. (2008). Studies on alcohol sensing mechanism of ZnO based gas sensors. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, *132*(1), 334–339. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2008.01.062>

Yousefi, H. R., Hashemi, B., Mirzaei, A., Roshan, H., & Sheikhi, M. H. (2020). Effect of Ag on the ZnO nanoparticles properties as an ethanol vapor sensor. *Materials Science in Semiconductor Processing*, *117*. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2020.105172>

Yunita, Y., Nurlina, N., & Syahbanu, I. (2020). Sintesis Nanopartikel Zink Oksida (ZnO) dengan Penambahan Ekstrak Klorofil sebagai Capping Agent. *POSITRON*, *10*(2), 44. <https://doi.org/10.26418/positron.v10i2.42136>

LAMPIRAN A
CONTOH PERHITUNGAN

Lampiran A. Contoh Perhitungan

1. Perhitungan Massa Seng Nitrat Tetrahidrat ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) untuk Larutan *Chemical Bath Deposition*

Diketahui:

$$\text{Konsentrasi Molar (M)} = 0,2 \text{ M}$$

$$\text{Massa Molekul (Mr)} = 261,44 \text{ gr/mol}$$

$$\text{Volume Aquabides (V)} = 30 \text{ mL}$$

Perhitungan:

$$\text{Massa} = \frac{M \times \text{Mr} \times V}{1000}$$

$$\text{Massa} = \frac{0,2 \text{ M} \times 261,44 \text{ gr/mol} \times 30 \text{ mL}}{1000}$$

$$\text{Massa} = 1,56864 \text{ gram}$$

2. Perhitungan Massa Heksametilentetramin ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$) untuk Larutan *Chemical Bath Deposition*

Diketahui:

$$\text{Konsentrasi Molar (M)} = 0,2 \text{ M}$$

$$\text{Massa Molekul (Mr)} = 140,19 \text{ gr/mol}$$

$$\text{Volume Aquabides (V)} = 30 \text{ mL}$$

Perhitungan:

$$\text{Massa} = \frac{M \times \text{Mr} \times V}{1000}$$

$$\text{Massa} = \frac{0,2 \text{ M} \times 140,19 \text{ gr/mol} \times 30 \text{ mL}}{1000}$$

$$\text{Massa} = 0,84114 \text{ gram}$$

3. Perhitungan Massa Perak Nitrat (AgNO_3) untuk Larutan *Chemical Bath Deposition*

Diketahui:

$$\text{Konsentrasi Molar (M)} = 0,6 \text{ mM} = 6 \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$\text{Massa Molekul (Mr)} = 169,87 \text{ gr/mol}$$

$$\text{Volume Aquabides (V)} = 30 \text{ mL}$$

Perhitungan:

$$\text{Massa} = \frac{M \times \text{Mr} \times V}{1000}$$

$$\text{Massa} = \frac{6 \times 10^{-4} \text{ M} \times 169,87 \text{ gr/mol} \times 30 \text{ mL}}{1000}$$

$$\text{Massa} = 0,00305766 \text{ gram}$$

4. Perhitungan Massa Seng Nitrat Tetrahidrat ($Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$) untuk Larutan *Spray Coating*

Diketahui:

Konsentrasi Molar (M) = 0,2 M

Massa Molekul (Mr) = 261,44 gr/mol

Volume Aquabides (V) = 10 mL

Perhitungan:

$$\text{Massa} = \frac{M \times Mr \times V}{1000}$$

$$\text{Massa} = \frac{0,2 \text{ M} \times 261,44 \text{ gr/mol} \times 10 \text{ mL}}{1000}$$

$$\text{Massa} = 0,52288 \text{ gram}$$

5. Perhitungan Massa Heksametilentetramin ($C_6H_{12}N_4$) untuk Larutan *Spray Coating*

Diketahui:

Konsentrasi Molar (M) = 0,2 M

Massa Molekul (Mr) = 140,19 gr/mol

Volume Aquabides (V) = 10 mL

Perhitungan:

$$\text{Massa} = \frac{M \times Mr \times V}{1000}$$

$$\text{Massa} = \frac{0,2 \text{ M} \times 140,19 \text{ gr/mol} \times 10 \text{ mL}}{1000}$$

$$\text{Massa} = 0,28038 \text{ gram}$$

6. Perhitungan Massa Perak Nitrat ($AgNO_3$) untuk Larutan *Spray Coating*

Diketahui:

Konsentrasi Molar (M) = 0,6 mM = 6×10^{-4} M

Massa Molekul (Mr) = 169,87 gr/mol

Volume Aquabides (V) = 10 mL

Perhitungan:

$$\text{Massa} = \frac{M \times Mr \times V}{1000}$$

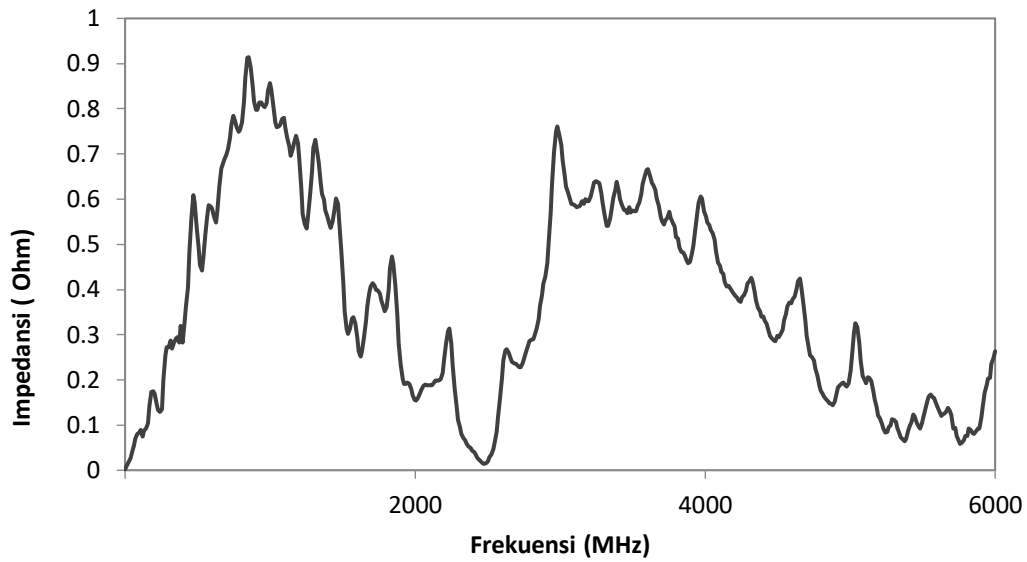
$$\text{Massa} = \frac{6 \times 10^{-4} \text{ M} \times 169,87 \text{ gr/mol} \times 10 \text{ mL}}{1000}$$

$$\text{Massa} = 0,001922 \text{ gram}$$

LAMPIRAN B
DATA PENELITIAN

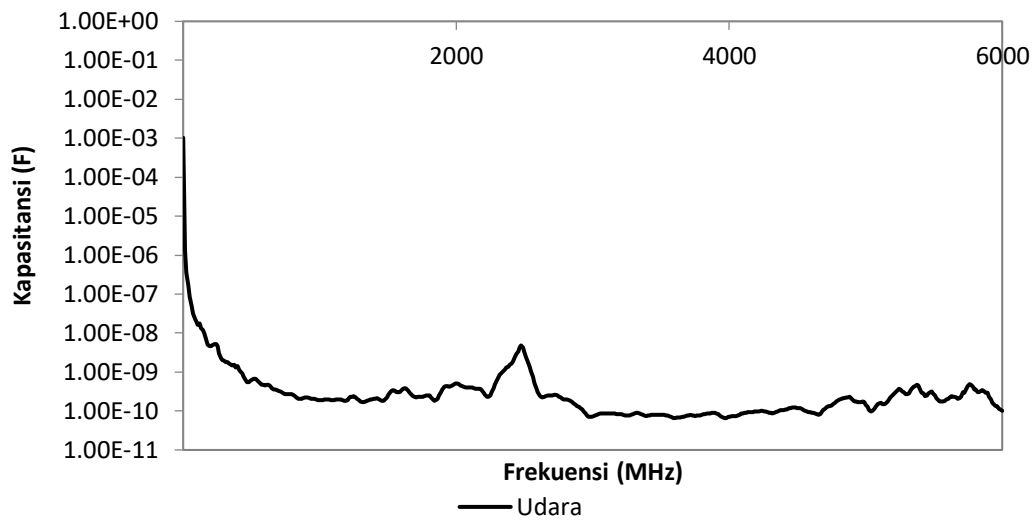
Lampiran B. Data Penelitian

B.1. Data Hasil Uji Performa pada Udara

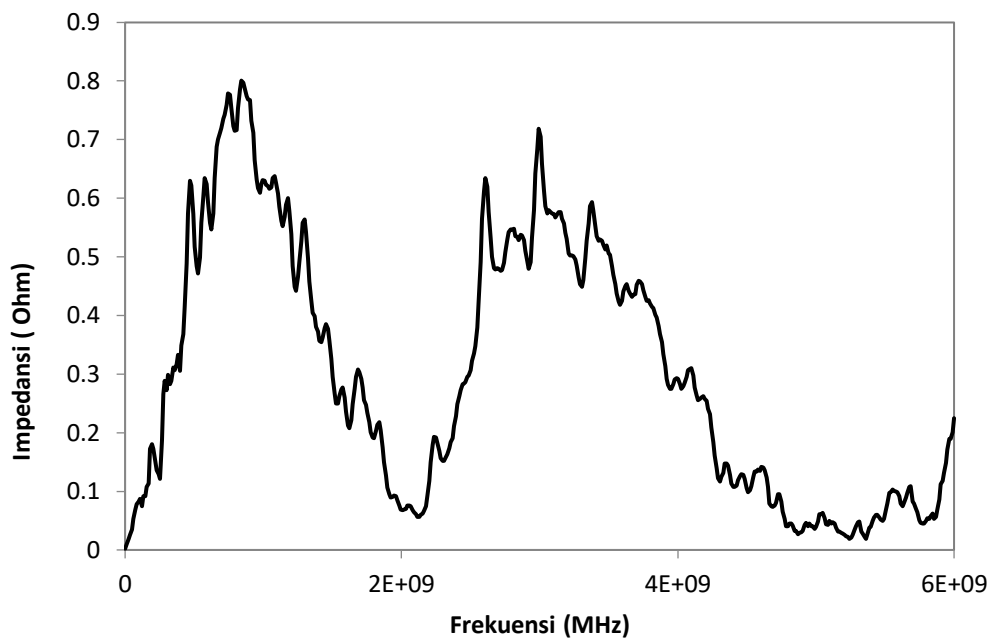


Gambar

B.1. Nilai Impedansi Udara

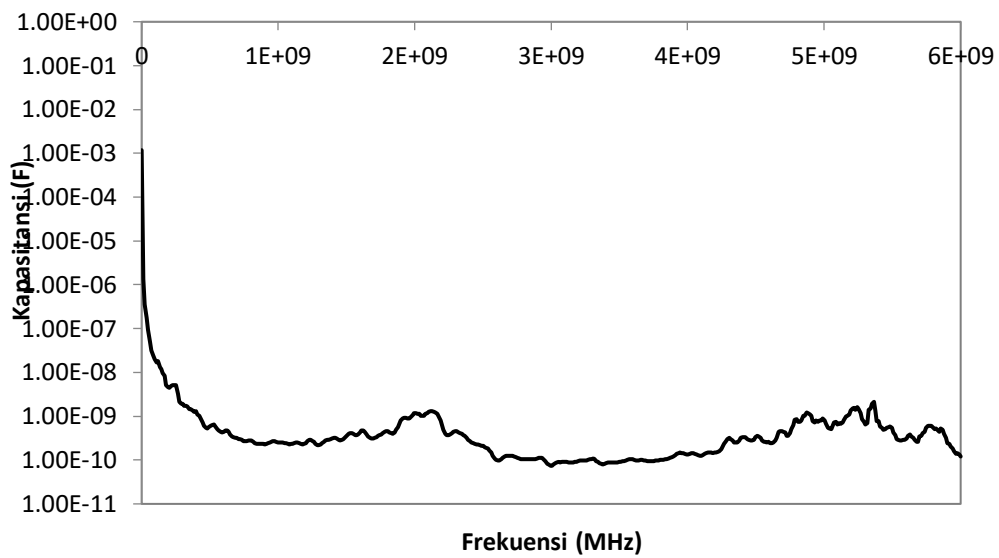


Gambar B.2 Nilai Kapasitansi Udara

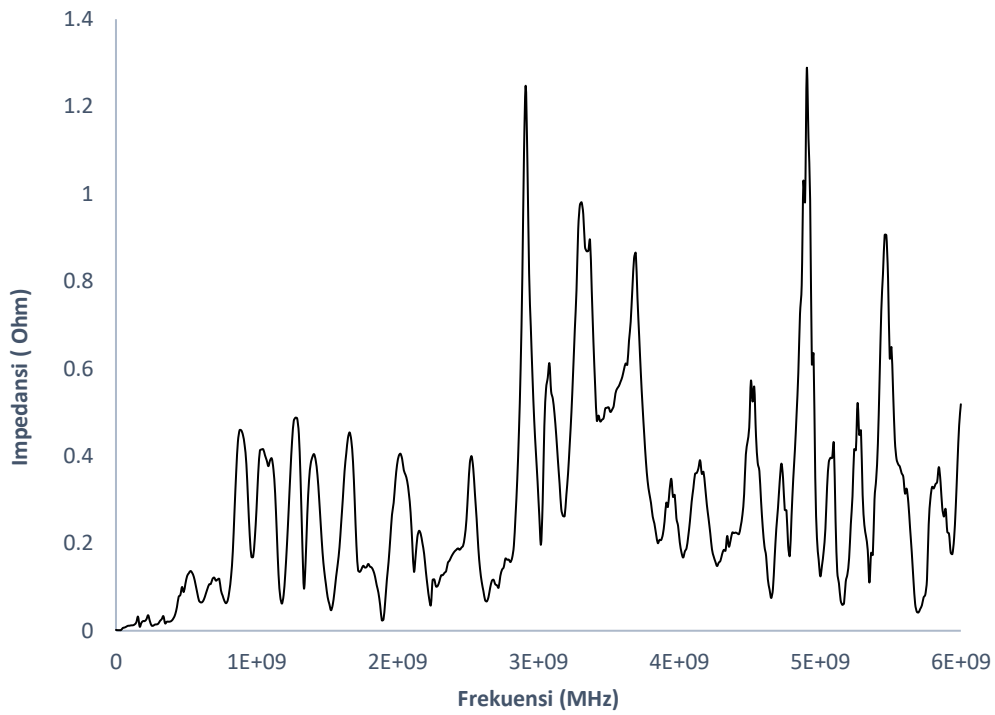


Gambar

B.3. Nilai Impedansi Air

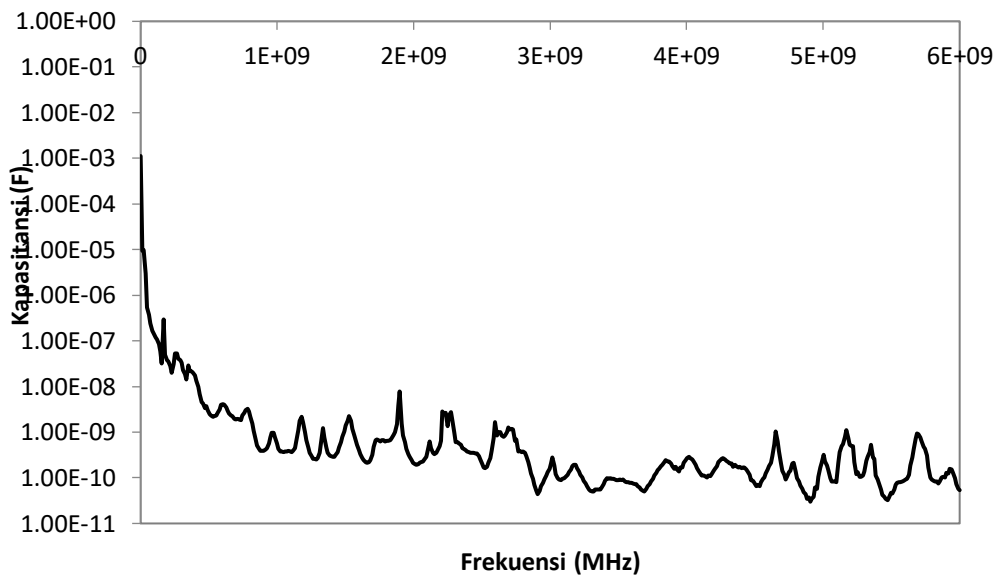


Gambar B.4. Nilai Kapasitansi Air

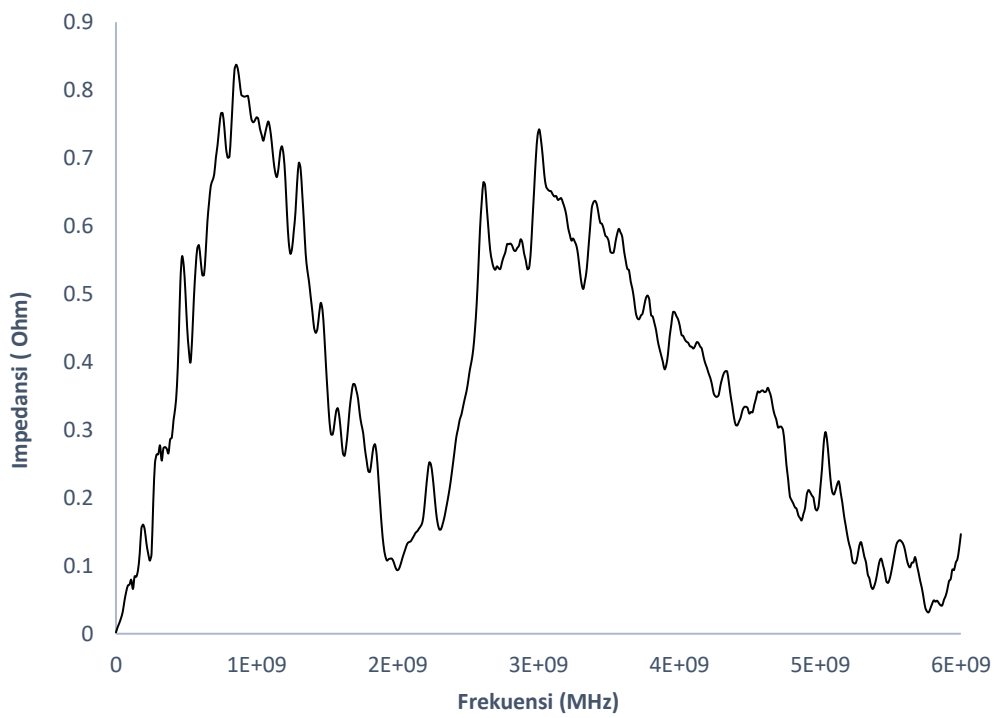


Gambar

B.5. Nilai Impedansi Etanol

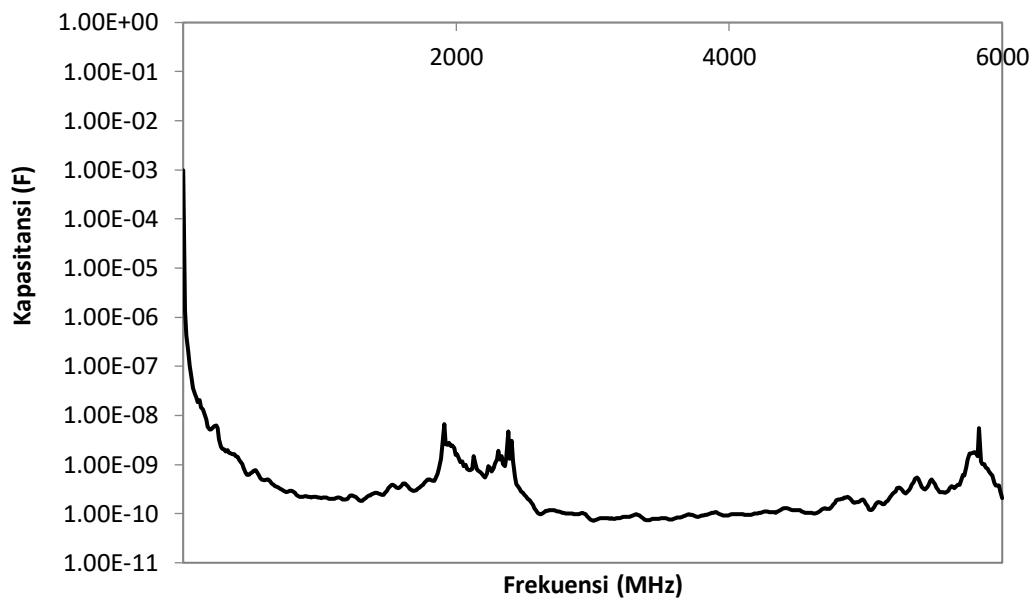


Gambar B.6. Nilai Kapasitansi Etanol

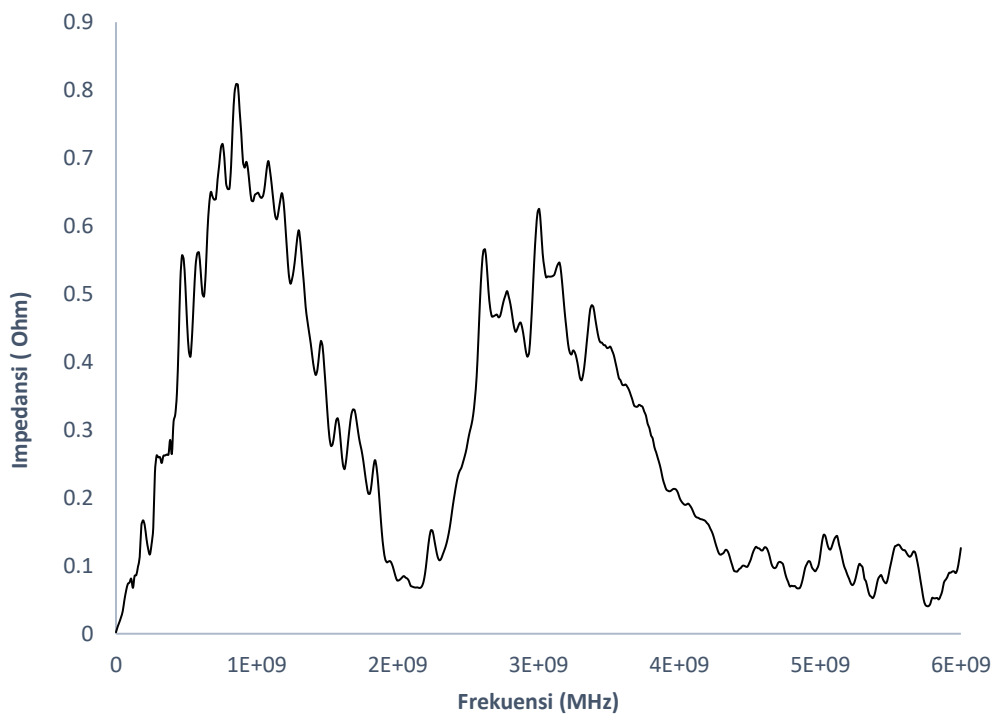


Gambar

B.7. Nilai Impedansi *Rum*

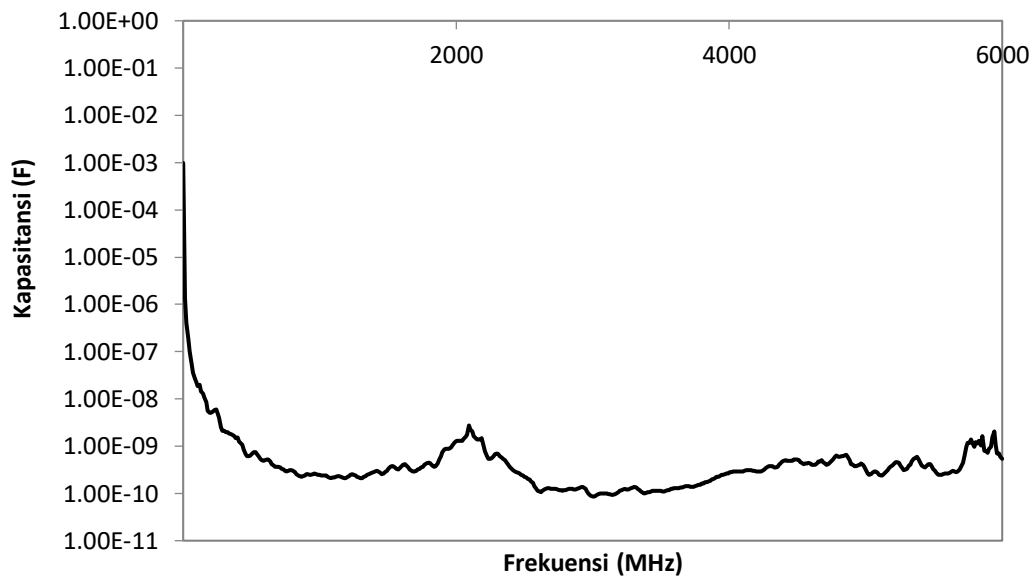


Gambar B.8. Nilai Kapasitansi *Rum*

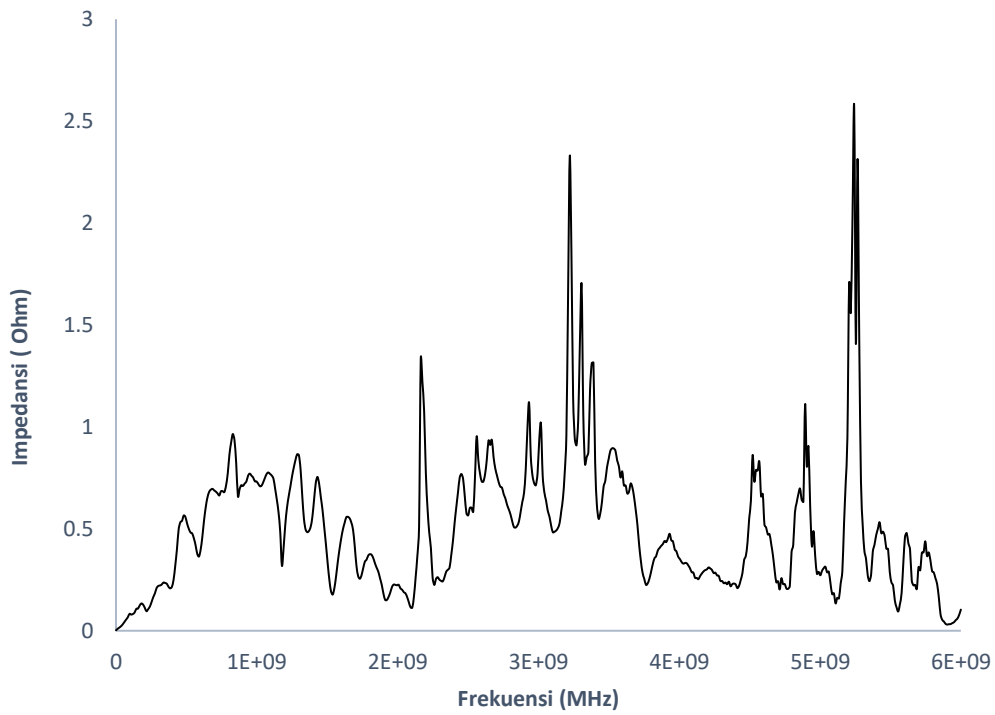


Gambar

B.9. Nilai Impedansi Beer

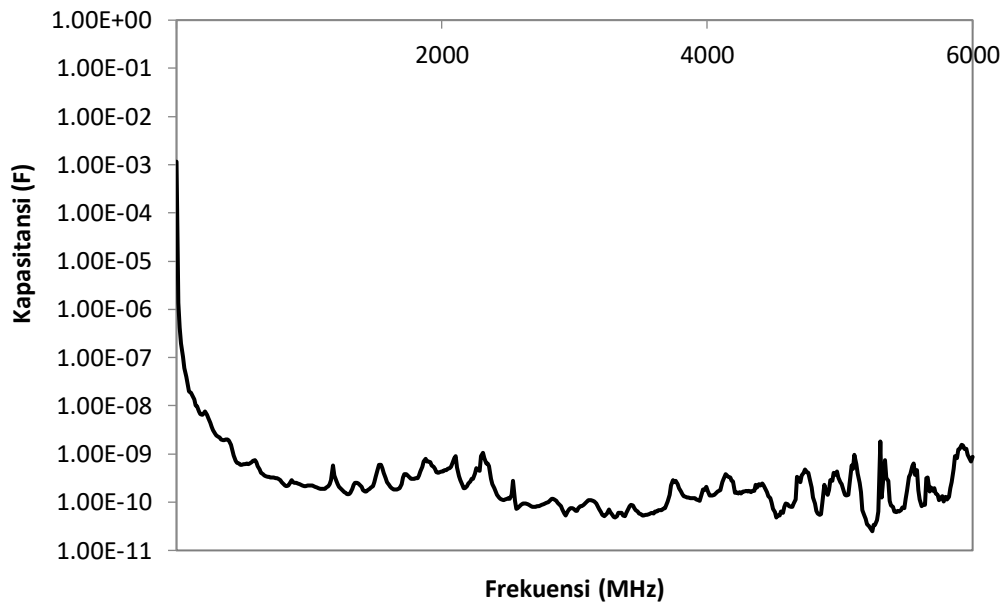


Gambar B.10. Nilai Kapasitansi Beer

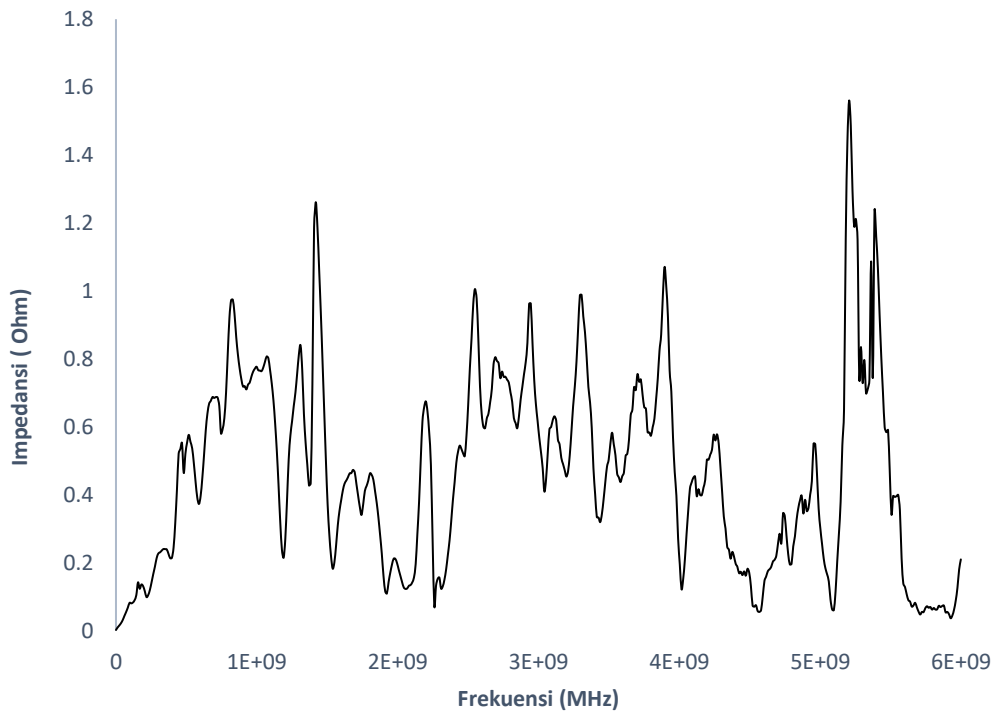


Gambar

B.9. Nilai Impedansi Angchu

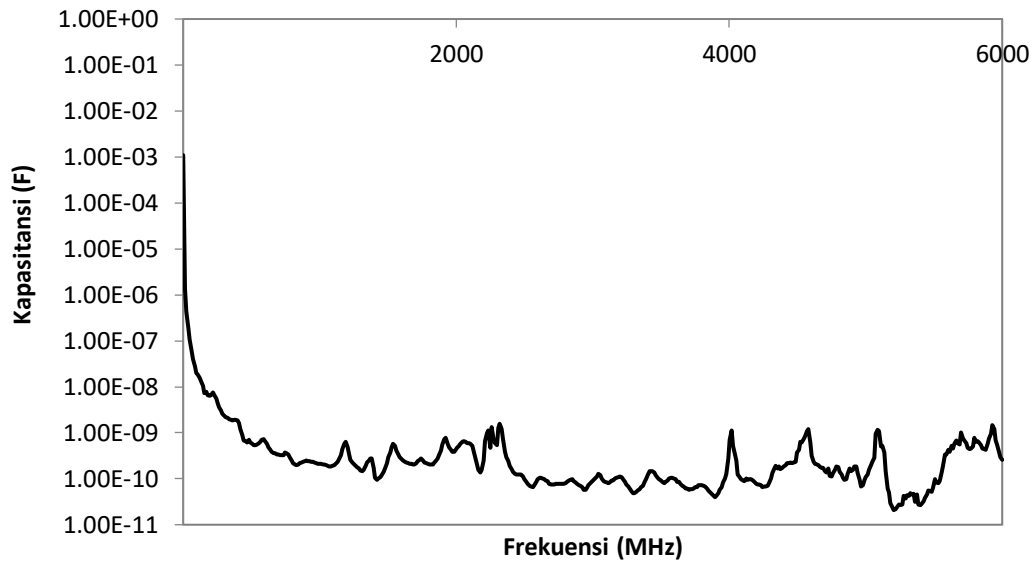


Gambar B.10. Nilai Kapasitansi Angchu

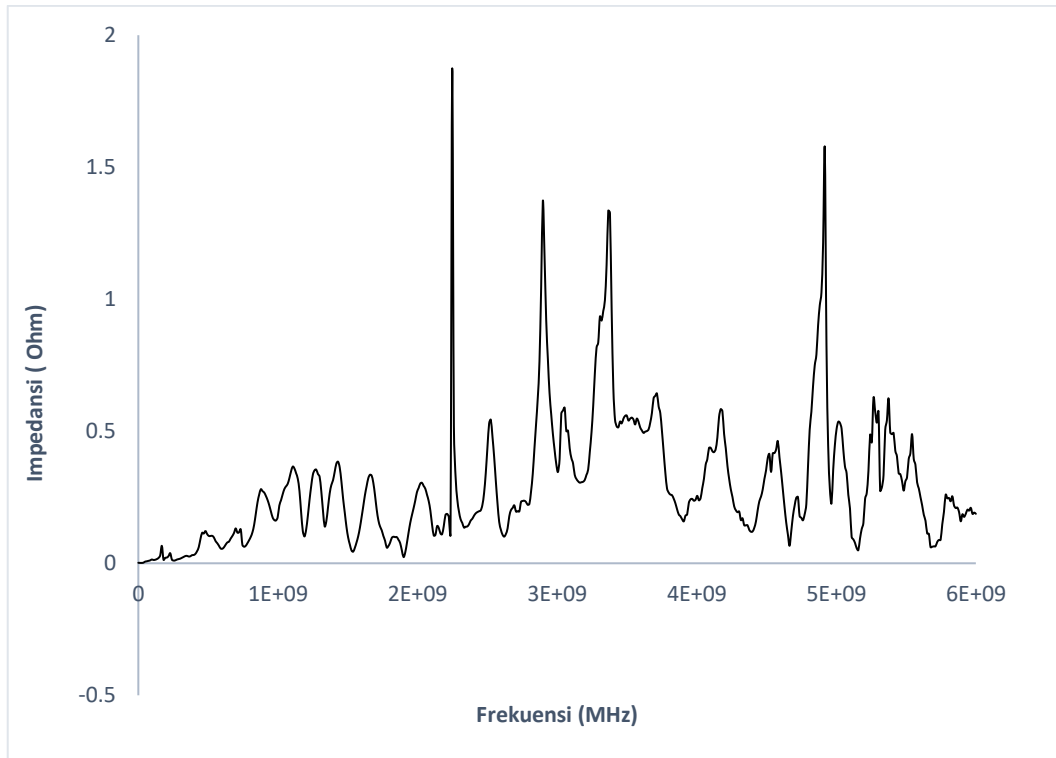


Gambar

B.9. Nilai Impedansi *White Wine*

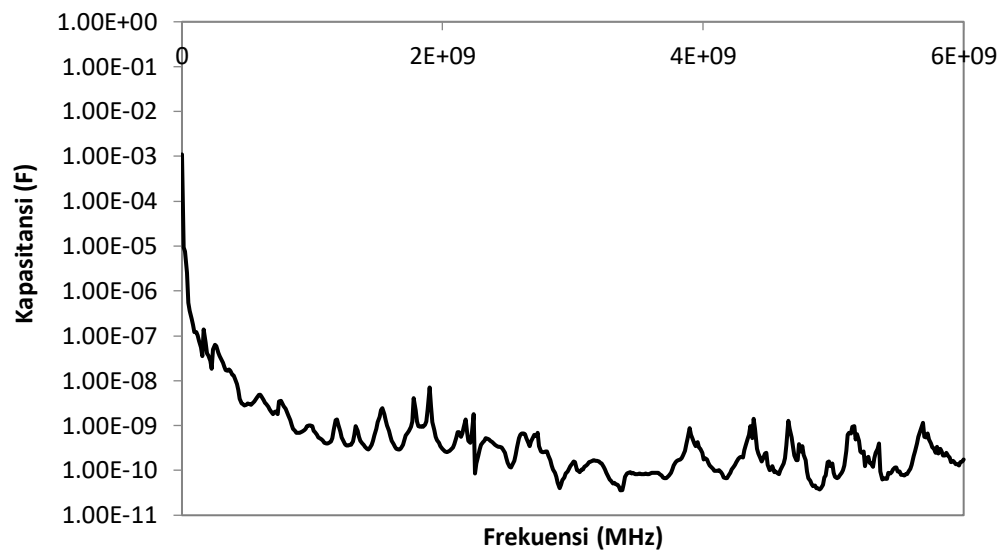


Gambar B.10. Nilai Kapasitansi *White Wine*



Gambar

B.9. Nilai Impedansi *Red Wine*



Gambar B.10. Nilai Kapasitansi *Red Wine*

B.2. Data Pengukuran Udara Frekuensi 100 kHz – 6 GHz

Tabel B.1 Data Pengukuran Udara pada Frekuensi 100 kHz – 6 GHz

Frekuensi (Hz)	Rata-Rata Impedansi (Ω)	Rata-Rata Kapasitansi (F)
100000	0.002235	0.001027
12123800	0.010064	1.33E-06
24147700	0.018512	3.59E-07
36171500	0.026967	1.64E-07
48195400	0.038604	8.57E-08
60219200	0.054705	4.84E-08
72243100	0.069868	3.16E-08
84266900	0.080858	2.34E-08
96290800	0.082967	1.99E-08
1.08E+08	0.08949	1.64E-08
1.2E+08	0.074612	1.77E-08
1.32E+08	0.088405	1.36E-08
1.44E+08	0.091928	1.2E-08
1.56E+08	0.104172	9.78E-09
1.68E+08	0.141421	6.69E-09
1.8E+08	0.173322	5.09E-09
1.92E+08	0.17563	4.71E-09
2.05E+08	0.169012	4.61E-09
2.17E+08	0.147086	5E-09
2.29E+08	0.133619	5.21E-09
2.41E+08	0.128594	5.15E-09

2.53E+08	0.135623	4.65E-09
2.65E+08	0.198282	3.04E-09
2.77E+08	0.252697	2.28E-09
2.89E+08	0.272945	2.02E-09
3.01E+08	0.27261	1.94E-09
3.13E+08	0.286657	1.78E-09
3.25E+08	0.269326	1.82E-09
3.37E+08	0.283126	1.67E-09
3.49E+08	0.292229	1.56E-09
3.61E+08	0.293808	1.5E-09
3.73E+08	0.282787	1.51E-09
3.85E+08	0.319718	1.29E-09
3.97E+08	0.282273	1.42E-09
4.09E+08	0.329916	1.18E-09
4.21E+08	0.363739	1.04E-09
4.33E+08	0.405414	9.07E-10
4.45E+08	0.48048	7.45E-10
4.57E+08	0.556256	6.26E-10
4.69E+08	0.608374	5.58E-10
4.81E+08	0.593271	5.58E-10
4.93E+08	0.537858	6E-10
5.05E+08	0.49228	6.4E-10
5.17E+08	0.453529	6.79E-10
5.29E+08	0.442701	6.8E-10
5.41E+08	0.469728	6.26E-10

5.53E+08	0.521895	5.52E-10
5.65E+08	0.563853	5E-10
5.77E+08	0.586394	4.7E-10
5.89E+08	0.583059	4.63E-10
6.01E+08	0.579675	4.57E-10
6.13E+08	0.562075	4.62E-10
6.25E+08	0.548552	4.64E-10
6.37E+08	0.573931	4.35E-10
6.49E+08	0.627416	3.91E-10
6.61E+08	0.667412	3.61E-10
6.73E+08	0.676765	3.51E-10
6.85E+08	0.690491	3.37E-10
6.97E+08	0.695846	3.28E-10
7.1E+08	0.711152	3.16E-10
7.22E+08	0.736058	3E-10
7.34E+08	0.763162	2.85E-10
7.46E+08	0.785007	2.72E-10
7.58E+08	0.775209	2.71E-10
7.7E+08	0.75949	2.72E-10
7.82E+08	0.749766	2.72E-10
7.94E+08	0.753874	2.66E-10
8.06E+08	0.769978	2.57E-10
8.18E+08	0.815136	2.39E-10
8.3E+08	0.868858	2.21E-10
8.42E+08	0.913585	2.07E-10

8.54E+08	0.914274	2.04E-10
8.66E+08	0.891533	2.06E-10
8.78E+08	0.850651	2.13E-10
8.9E+08	0.816964	2.19E-10
9.02E+08	0.798293	2.21E-10
9.14E+08	0.797681	2.18E-10
9.26E+08	0.814494	2.11E-10
9.38E+08	0.813728	2.09E-10
9.5E+08	0.807834	2.07E-10
9.62E+08	0.804236	2.06E-10
9.74E+08	0.813164	2.01E-10
9.86E+08	0.83986	1.92E-10
9.98E+08	0.856305	1.86E-10
1.01E+09	0.842327	1.87E-10
1.02E+09	0.807313	1.93E-10
1.03E+09	0.770069	2E-10
1.05E+09	0.759147	2.01E-10
1.06E+09	0.76025	1.98E-10
1.07E+09	0.764479	1.95E-10
1.08E+09	0.77736	1.89E-10
1.09E+09	0.779326	1.87E-10
1.11E+09	0.758203	1.9E-10
1.12E+09	0.734945	1.94E-10
1.13E+09	0.716667	1.97E-10
1.14E+09	0.696606	2E-10

1.15E+09	0.710465	1.94E-10
1.17E+09	0.724559	1.88E-10
1.18E+09	0.740587	1.82E-10
1.19E+09	0.723363	1.85E-10
1.2E+09	0.687207	1.93E-10
1.21E+09	0.623433	2.1E-10
1.23E+09	0.567167	2.29E-10
1.24E+09	0.545938	2.36E-10
1.25E+09	0.534528	2.38E-10
1.26E+09	0.561138	2.25E-10
1.27E+09	0.607813	2.06E-10
1.29E+09	0.661073	1.87E-10
1.3E+09	0.713732	1.72E-10
1.31E+09	0.731964	1.66E-10
1.32E+09	0.711526	1.69E-10
1.33E+09	0.683009	1.75E-10
1.35E+09	0.63726	1.86E-10
1.36E+09	0.61231	1.91E-10
1.37E+09	0.597863	1.94E-10
1.38E+09	0.575555	2E-10
1.39E+09	0.561627	2.03E-10
1.41E+09	0.545114	2.08E-10
1.42E+09	0.535998	2.1E-10
1.43E+09	0.5518	2.02E-10
1.44E+09	0.578948	1.91E-10

1.45E+09	0.601141	1.82E-10
1.47E+09	0.589113	1.84E-10
1.48E+09	0.546953	1.97E-10
1.49E+09	0.484757	2.21E-10
1.5E+09	0.414738	2.56E-10
1.52E+09	0.351955	2.99E-10
1.53E+09	0.312514	3.34E-10
1.54E+09	0.3024	3.42E-10
1.55E+09	0.314255	3.27E-10
1.56E+09	0.335572	3.04E-10
1.58E+09	0.338091	2.99E-10
1.59E+09	0.325409	3.08E-10
1.6E+09	0.293513	3.39E-10
1.61E+09	0.263896	3.75E-10
1.62E+09	0.251949	3.9E-10
1.64E+09	0.262968	3.71E-10
1.65E+09	0.294144	3.31E-10
1.66E+09	0.330385	2.93E-10
1.67E+09	0.363427	2.65E-10
1.68E+09	0.393285	2.43E-10
1.7E+09	0.40665	2.32E-10
1.71E+09	0.413631	2.26E-10
1.72E+09	0.407601	2.27E-10
1.73E+09	0.399758	2.3E-10
1.74E+09	0.39791	2.3E-10

1.76E+09	0.390251	2.32E-10
1.77E+09	0.375291	2.4E-10
1.78E+09	0.36167	2.47E-10
1.79E+09	0.352177	2.53E-10
1.8E+09	0.361417	2.45E-10
1.82E+09	0.399702	2.21E-10
1.83E+09	0.447951	1.95E-10
1.84E+09	0.473736	1.83E-10
1.85E+09	0.456248	1.89E-10
1.86E+09	0.410163	2.09E-10
1.88E+09	0.3439	2.47E-10
1.89E+09	0.281165	3.01E-10
1.9E+09	0.233787	3.59E-10
1.91E+09	0.202345	4.12E-10
1.92E+09	0.191025	4.34E-10
1.94E+09	0.191488	4.3E-10
1.95E+09	0.193533	4.23E-10
1.96E+09	0.190534	4.27E-10
1.97E+09	0.179814	4.49E-10
1.98E+09	0.165991	4.84E-10
2E+09	0.155205	5.14E-10
2.01E+09	0.154958	5.12E-10
2.02E+09	0.160542	4.91E-10
2.03E+09	0.170565	4.6E-10
2.04E+09	0.178063	4.38E-10

2.06E+09	0.187403	4.15E-10
2.07E+09	0.189572	4.07E-10
2.08E+09	0.188661	4.07E-10
2.09E+09	0.187547	4.06E-10
2.1E+09	0.187931	4.03E-10
2.12E+09	0.188496	3.99E-10
2.13E+09	0.194248	3.85E-10
2.14E+09	0.198979	3.74E-10
2.15E+09	0.198058	3.74E-10
2.16E+09	0.198907	3.7E-10
2.18E+09	0.200928	3.64E-10
2.19E+09	0.215459	3.38E-10
2.2E+09	0.243348	2.97E-10
2.21E+09	0.279815	2.57E-10
2.22E+09	0.308004	2.33E-10
2.24E+09	0.313386	2.27E-10
2.25E+09	0.279503	2.54E-10
2.26E+09	0.232334	3.03E-10
2.27E+09	0.181582	3.86E-10
2.28E+09	0.14085	4.96E-10
2.3E+09	0.111468	6.23E-10
2.31E+09	0.094529	7.31E-10
2.32E+09	0.080964	8.49E-10
2.33E+09	0.072185	9.48E-10
2.34E+09	0.066206	1.03E-09

2.36E+09	0.05855	1.16E-09
2.37E+09	0.052419	1.29E-09
2.38E+09	0.049347	1.36E-09
2.39E+09	0.04392	1.53E-09
2.4E+09	0.040685	1.65E-09
2.42E+09	0.036259	1.87E-09
2.43E+09	0.026714	2.5E-09
2.44E+09	0.022973	2.9E-09
2.45E+09	0.019422	3.41E-09
2.46E+09	0.01538	4.29E-09
2.48E+09	0.013991	4.74E-09
2.49E+09	0.015955	4.19E-09
2.5E+09	0.020507	3.23E-09
2.51E+09	0.029176	2.25E-09
2.53E+09	0.035193	1.84E-09
2.54E+09	0.046578	1.38E-09
2.55E+09	0.061591	1.03E-09
2.56E+09	0.084672	7.42E-10
2.57E+09	0.116812	5.34E-10
2.59E+09	0.158646	3.91E-10
2.6E+09	0.204243	3.02E-10
2.61E+09	0.243501	2.52E-10
2.62E+09	0.265689	2.29E-10
2.63E+09	0.267787	2.26E-10
2.65E+09	0.261279	2.31E-10

2.66E+09	0.246582	2.44E-10
2.67E+09	0.239865	2.49E-10
2.68E+09	0.23639	2.52E-10
2.69E+09	0.235811	2.51E-10
2.71E+09	0.232721	2.54E-10
2.72E+09	0.227942	2.58E-10
2.73E+09	0.227372	2.57E-10
2.74E+09	0.23765	2.45E-10
2.75E+09	0.252121	2.3E-10
2.77E+09	0.261322	2.21E-10
2.78E+09	0.275419	2.09E-10
2.79E+09	0.285176	2.01E-10
2.8E+09	0.288658	1.98E-10
2.81E+09	0.290005	1.96E-10
2.83E+09	0.298363	1.9E-10
2.84E+09	0.313023	1.8E-10
2.85E+09	0.333973	1.68E-10
2.86E+09	0.363721	1.54E-10
2.87E+09	0.387385	1.43E-10
2.89E+09	0.41316	1.34E-10
2.9E+09	0.429346	1.28E-10
2.91E+09	0.457993	1.2E-10
2.92E+09	0.504616	1.08E-10
2.93E+09	0.568526	9.56E-11
2.95E+09	0.632356	8.56E-11

2.96E+09	0.702899	7.66E-11
2.97E+09	0.748862	7.16E-11
2.98E+09	0.760297	7.02E-11
2.99E+09	0.741505	7.17E-11
3.01E+09	0.72002	7.36E-11
3.02E+09	0.685157	7.7E-11
3.03E+09	0.652447	8.06E-11
3.04E+09	0.628768	8.33E-11
3.05E+09	0.614249	8.49E-11
3.07E+09	0.600727	8.65E-11
3.08E+09	0.590353	8.77E-11
3.09E+09	0.588719	8.76E-11
3.1E+09	0.586977	8.75E-11
3.11E+09	0.582007	8.79E-11
3.13E+09	0.58359	8.74E-11
3.14E+09	0.58583	8.67E-11
3.15E+09	0.595091	8.5E-11
3.16E+09	0.589972	8.54E-11
3.17E+09	0.599454	8.37E-11
3.19E+09	0.595499	8.39E-11
3.2E+09	0.595723	8.36E-11
3.21E+09	0.605474	8.19E-11
3.22E+09	0.623551	7.93E-11
3.23E+09	0.637199	7.73E-11
3.25E+09	0.639232	7.68E-11

3.26E+09	0.637871	7.66E-11
3.27E+09	0.634849	7.67E-11
3.28E+09	0.613888	7.9E-11
3.29E+09	0.591627	8.17E-11
3.31E+09	0.565079	8.52E-11
3.32E+09	0.540363	8.88E-11
3.33E+09	0.540628	8.85E-11
3.34E+09	0.555599	8.58E-11
3.35E+09	0.572858	8.29E-11
3.37E+09	0.603358	7.84E-11
3.38E+09	0.620933	7.59E-11
3.39E+09	0.638469	7.36E-11
3.4E+09	0.618816	7.56E-11
3.41E+09	0.599641	7.78E-11
3.43E+09	0.587294	7.91E-11
3.44E+09	0.576753	8.03E-11
3.45E+09	0.577046	8E-11
3.46E+09	0.568436	8.09E-11
3.47E+09	0.581613	7.88E-11
3.49E+09	0.569927	8.01E-11
3.5E+09	0.575577	7.91E-11
3.51E+09	0.573572	7.91E-11
3.52E+09	0.57344	7.88E-11
3.54E+09	0.586361	7.68E-11
3.55E+09	0.593309	7.57E-11

3.56E+09	0.612306	7.31E-11
3.57E+09	0.633904	7.03E-11
3.58E+09	0.650574	6.83E-11
3.6E+09	0.664205	6.67E-11
3.61E+09	0.666594	6.62E-11
3.62E+09	0.651259	6.76E-11
3.63E+09	0.634782	6.91E-11
3.64E+09	0.631188	6.92E-11
3.66E+09	0.620053	7.03E-11
3.67E+09	0.601991	7.21E-11
3.68E+09	0.586566	7.38E-11
3.69E+09	0.56226	7.67E-11
3.7E+09	0.551103	7.8E-11
3.72E+09	0.543675	7.88E-11
3.73E+09	0.552983	7.73E-11
3.74E+09	0.559134	7.62E-11
3.75E+09	0.571408	7.43E-11
3.76E+09	0.558922	7.57E-11
3.78E+09	0.548182	7.7E-11
3.79E+09	0.539497	7.79E-11
3.8E+09	0.516275	8.12E-11
3.81E+09	0.512887	8.15E-11
3.82E+09	0.49371	8.44E-11
3.84E+09	0.483088	8.6E-11
3.85E+09	0.482267	8.58E-11

3.86E+09	0.475403	8.68E-11
3.87E+09	0.463655	8.87E-11
3.88E+09	0.457838	8.96E-11
3.9E+09	0.460859	8.87E-11
3.91E+09	0.480642	8.48E-11
3.92E+09	0.496556	8.18E-11
3.93E+09	0.533615	7.59E-11
3.94E+09	0.571076	7.07E-11
3.96E+09	0.592206	6.8E-11
3.97E+09	0.605433	6.63E-11
3.98E+09	0.600782	6.66E-11
3.99E+09	0.573453	6.96E-11
4E+09	0.561643	7.08E-11
4.02E+09	0.54844	7.23E-11
4.03E+09	0.542935	7.28E-11
4.04E+09	0.531986	7.41E-11
4.05E+09	0.524345	7.5E-11
4.06E+09	0.509917	7.69E-11
4.08E+09	0.484809	8.07E-11
4.09E+09	0.460207	8.48E-11
4.1E+09	0.451792	8.61E-11
4.11E+09	0.439464	8.82E-11
4.12E+09	0.434843	8.89E-11
4.14E+09	0.41657	9.25E-11
4.15E+09	0.406915	9.44E-11

4.16E+09	0.407634	9.4E-11
4.17E+09	0.403	9.48E-11
4.18E+09	0.39606	9.61E-11
4.2E+09	0.391376	9.7E-11
4.21E+09	0.385875	9.81E-11
4.22E+09	0.381663	9.89E-11
4.23E+09	0.376271	1E-10
4.24E+09	0.373141	1.01E-10
4.26E+09	0.382372	9.79E-11
4.27E+09	0.387419	9.63E-11
4.28E+09	0.39768	9.36E-11
4.29E+09	0.413124	8.98E-11
4.3E+09	0.418778	8.84E-11
4.32E+09	0.426457	8.66E-11
4.33E+09	0.416709	8.84E-11
4.34E+09	0.394393	9.32E-11
4.35E+09	0.376207	9.74E-11
4.36E+09	0.358855	1.02E-10
4.38E+09	0.351395	1.04E-10
4.39E+09	0.340712	1.07E-10
4.4E+09	0.339733	1.07E-10
4.41E+09	0.332076	1.09E-10
4.42E+09	0.324489	1.11E-10
4.44E+09	0.308166	1.17E-10
4.45E+09	0.297873	1.2E-10

4.46E+09	0.291735	1.23E-10
4.47E+09	0.286905	1.24E-10
4.49E+09	0.284959	1.25E-10
4.5E+09	0.297195	1.19E-10
4.51E+09	0.29498	1.2E-10
4.52E+09	0.302025	1.17E-10
4.53E+09	0.311056	1.13E-10
4.55E+09	0.331552	1.06E-10
4.56E+09	0.346741	1.01E-10
4.57E+09	0.362893	9.61E-11
4.58E+09	0.370934	9.38E-11
4.59E+09	0.370268	9.37E-11
4.61E+09	0.379065	9.13E-11
4.62E+09	0.385013	8.97E-11
4.63E+09	0.402087	8.56E-11
4.64E+09	0.41841	8.21E-11
4.65E+09	0.424472	8.07E-11
4.67E+09	0.404482	8.46E-11
4.68E+09	0.369622	9.24E-11
4.69E+09	0.330685	1.03E-10
4.7E+09	0.297183	1.15E-10
4.71E+09	0.272099	1.25E-10
4.73E+09	0.255325	1.33E-10
4.74E+09	0.250341	1.35E-10
4.75E+09	0.242242	1.39E-10

4.76E+09	0.224996	1.49E-10
4.77E+09	0.210112	1.6E-10
4.79E+09	0.188937	1.78E-10
4.8E+09	0.177052	1.89E-10
4.81E+09	0.169354	1.97E-10
4.82E+09	0.162495	2.05E-10
4.83E+09	0.156589	2.12E-10
4.85E+09	0.153529	2.15E-10
4.86E+09	0.148463	2.22E-10
4.87E+09	0.146499	2.25E-10
4.88E+09	0.143793	2.28E-10
4.89E+09	0.151754	2.15E-10
4.91E+09	0.170724	1.91E-10
4.92E+09	0.183347	1.77E-10
4.93E+09	0.187815	1.73E-10
4.94E+09	0.192939	1.68E-10
4.95E+09	0.194269	1.66E-10
4.97E+09	0.188775	1.71E-10
4.98E+09	0.184972	1.73E-10
4.99E+09	0.192281	1.66E-10
5E+09	0.22022	1.45E-10
5.01E+09	0.252659	1.26E-10
5.03E+09	0.304645	1.04E-10
5.04E+09	0.32567	9.72E-11
5.05E+09	0.316403	9.99E-11

5.06E+09	0.281406	1.12E-10
5.07E+09	0.242844	1.3E-10
5.09E+09	0.20831	1.51E-10
5.1E+09	0.200078	1.57E-10
5.11E+09	0.192295	1.63E-10
5.12E+09	0.206269	1.51E-10
5.13E+09	0.204345	1.53E-10
5.15E+09	0.197223	1.58E-10
5.16E+09	0.175468	1.77E-10
5.17E+09	0.156685	1.97E-10
5.18E+09	0.139562	2.22E-10
5.19E+09	0.121722	2.54E-10
5.21E+09	0.115144	2.69E-10
5.22E+09	0.102682	2.99E-10
5.23E+09	0.092043	3.35E-10
5.24E+09	0.083353	3.69E-10
5.25E+09	0.085498	3.58E-10
5.27E+09	0.095241	3.2E-10
5.28E+09	0.100236	3.03E-10
5.29E+09	0.113521	2.68E-10
5.3E+09	0.111262	2.72E-10
5.31E+09	0.107703	2.85E-10
5.33E+09	0.093658	3.3E-10
5.34E+09	0.081952	3.68E-10
5.35E+09	0.073638	4.09E-10

5.36E+09	0.068367	4.39E-10
5.37E+09	0.064905	4.61E-10
5.39E+09	0.068043	4.5E-10
5.4E+09	0.085702	3.49E-10
5.41E+09	0.100263	2.96E-10
5.42E+09	0.105304	2.83E-10
5.43E+09	0.123056	2.4E-10
5.45E+09	0.11869	2.49E-10
5.46E+09	0.105488	2.8E-10
5.47E+09	0.096757	3.03E-10
5.48E+09	0.092593	3.16E-10
5.5E+09	0.103531	2.82E-10
5.51E+09	0.117916	2.47E-10
5.52E+09	0.134503	2.16E-10
5.53E+09	0.152589	1.91E-10
5.54E+09	0.163524	1.77E-10
5.56E+09	0.166933	1.73E-10
5.57E+09	0.162331	1.78E-10
5.58E+09	0.159777	1.8E-10
5.59E+09	0.148213	1.96E-10
5.6E+09	0.140315	2.06E-10
5.62E+09	0.130783	2.19E-10
5.63E+09	0.12052	2.38E-10
5.64E+09	0.122846	2.33E-10
5.65E+09	0.125527	2.28E-10

5.66E+09	0.128819	2.21E-10
5.68E+09	0.138359	2.05E-10
5.69E+09	0.130073	2.17E-10
5.7E+09	0.122049	2.32E-10
5.71E+09	0.092949	3.05E-10
5.72E+09	0.094403	2.97E-10
5.74E+09	0.076575	3.7E-10
5.75E+09	0.066015	4.31E-10
5.76E+09	0.057896	4.91E-10
5.77E+09	0.060615	4.69E-10
5.78E+09	0.066721	4.18E-10
5.8E+09	0.076077	3.63E-10
5.81E+09	0.076472	3.61E-10
5.82E+09	0.092413	3E-10
5.83E+09	0.089774	3.05E-10
5.84E+09	0.081793	3.34E-10
5.86E+09	0.080422	3.39E-10
5.87E+09	0.086786	3.16E-10
5.88E+09	0.092493	2.97E-10
5.89E+09	0.092945	2.94E-10
5.9E+09	0.116293	2.35E-10
5.92E+09	0.139051	1.95E-10
5.93E+09	0.172107	1.6E-10
5.94E+09	0.187853	1.45E-10
5.95E+09	0.203334	1.32E-10

5.96E+09	0.204667	1.31E-10
5.98E+09	0.235555	1.14E-10
5.99E+09	0.247596	1.08E-10
6E+09	0.263503	1.01E-10
