

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 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.



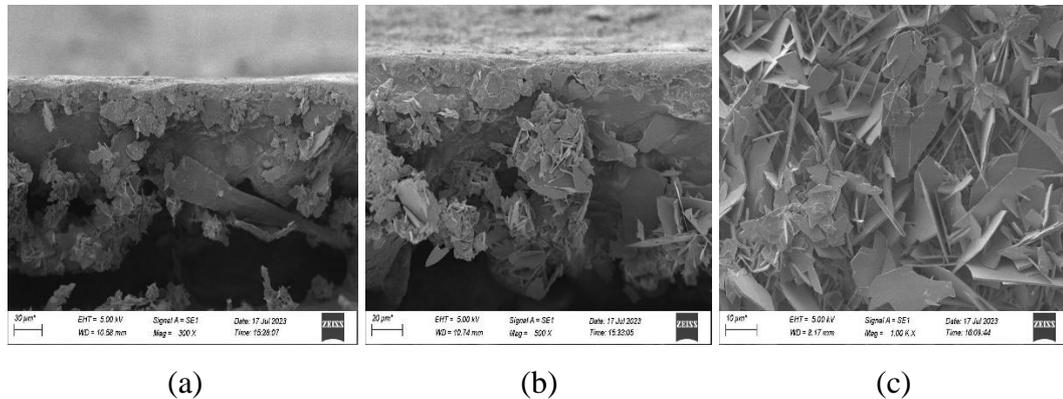
Gambar 4.1 Sensor Semikonduktor ZnO-Ag setelah Fabrikasi

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.

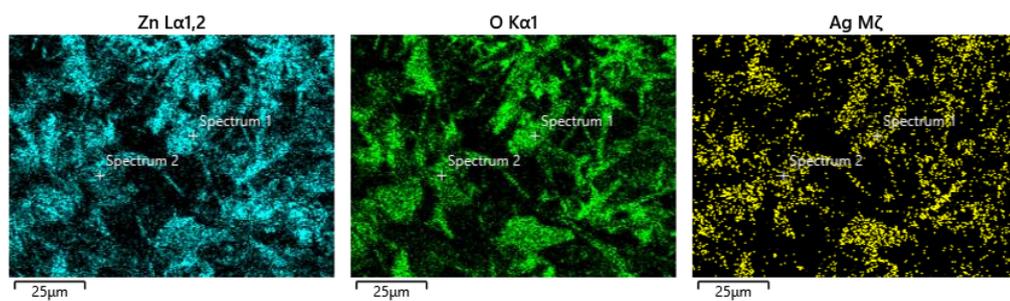
4.2 Hasil Pengujian SEM-EDX

Sampel bubuk ZnO-Ag hasil sintesis telah dilakukan pengujian dengan SEM-EDX. Hasil pengujian yang dilakukan dapat diamati pada Gambar 4.2. 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 [37]. Pengujian SEM-EDX juga menghasilkan gambar pemetaan untuk unsur penyusun pada sampel yang dapat diamati pada Gambar 4.3 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 4.2 Sampel ZnO-Ag pada Pembesaran 300x (a), 500x (b), dan 1000x (c)

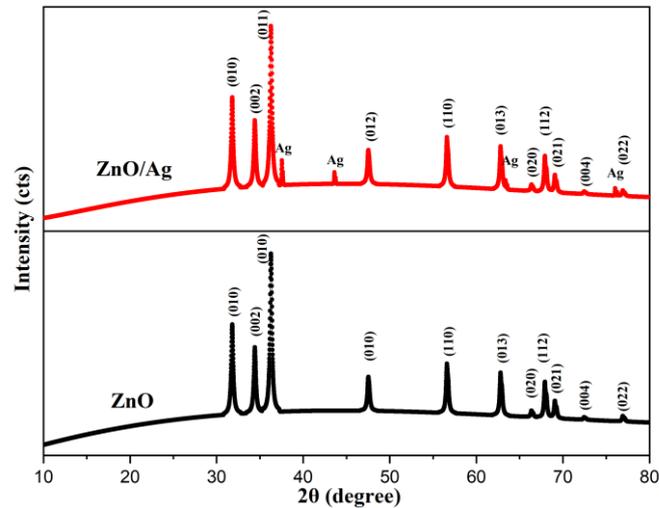


Gambar 4.3 Pemetaan Unsur pada Sample ZnO-Ag

4.3 Hasil Pengujian XRD

Pada pengujian dengan teknik XRD didapatkan data berupa pola difraksi untuk ZnO-Ag yang dapat diamati pada Gambar 4.4. 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 $76,0^\circ$.

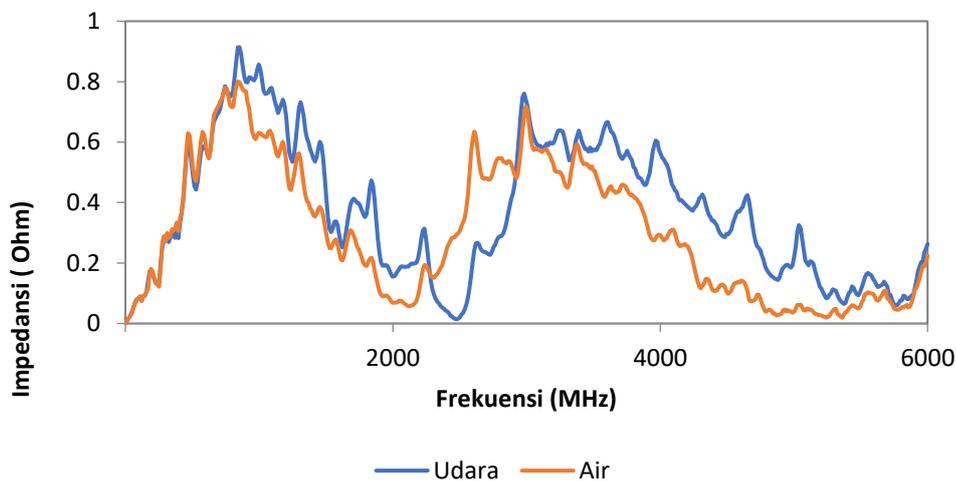


Gambar 4.4 Difraktogram untuk ZnO/Ag dan ZnO

4.4 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 4.5. 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

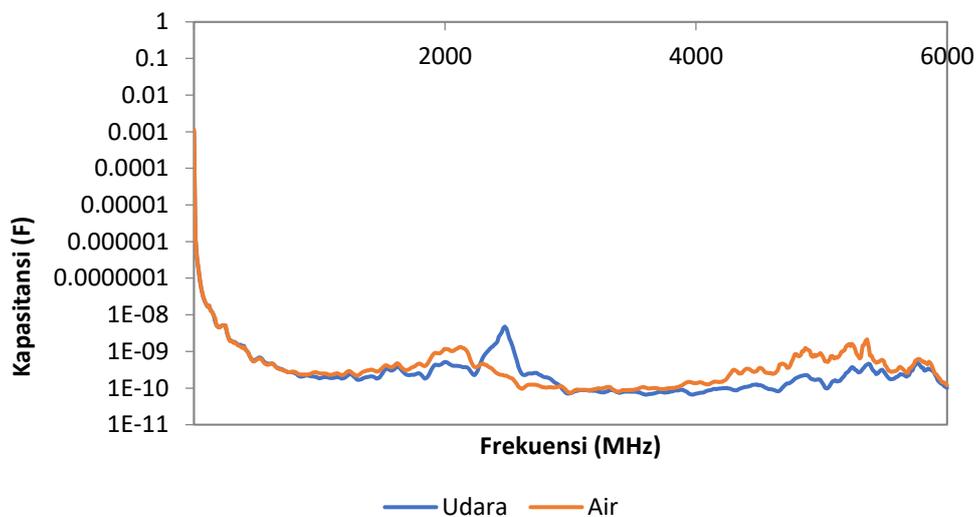
penurunan pada frekuensi di antara 850 MHz hingga 2000 MHz dan antara 3000 MHz hingga 6000 MHz. Nilai impedansi mengalami peningkatan dan penurunan seiring dengan meningkatnya frekuensi. Nilai impedansi memiliki bagian *real* berupa resistansi dan bagian *imaginer* berupa reaktansi. Pada perangkat yang 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 4.5 Grafik Perbandingan Impedansi Udara & Air pada Frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz

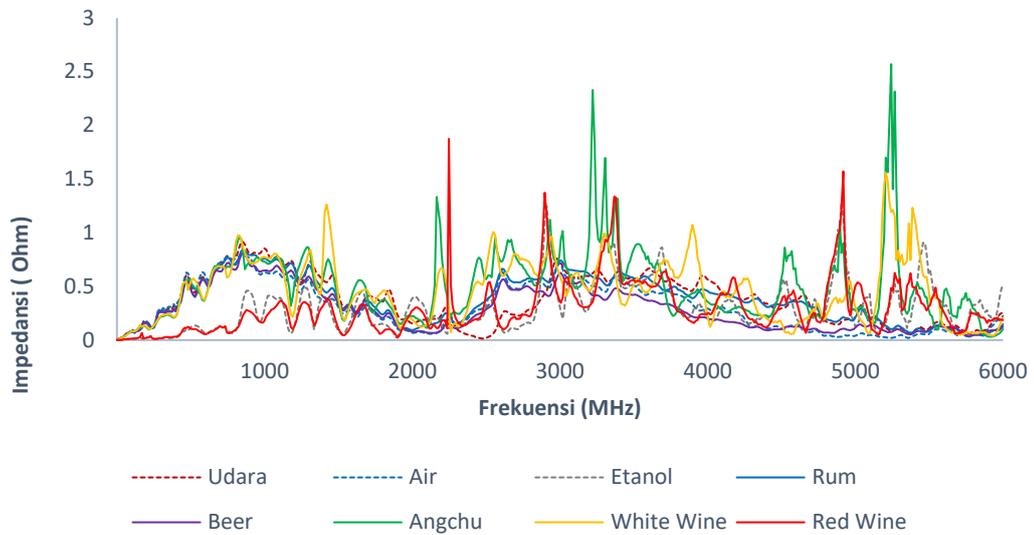
Udara memiliki nilai impedansi lebih tinggi dari air pada rentang frekuensi ketika impedansi mengalami penurunan. Sebaliknya, pada rentang frekuensi dimana impedansi mengalami peningkatan, nilai impedansi udara menjadi lebih rendah dibandingkan dengan air. Impedansi menunjukkan resistansi terhadap arus 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 [38]. 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.

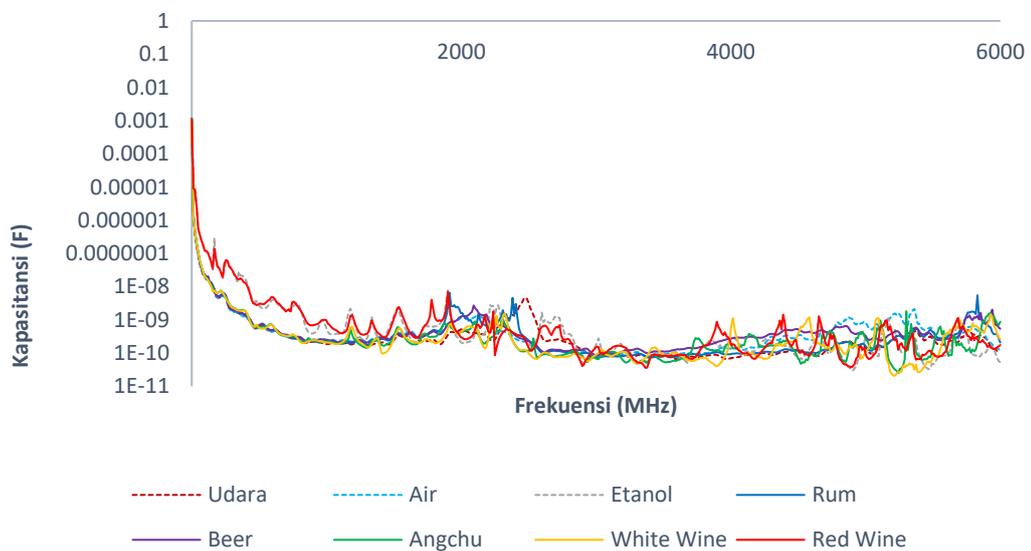


Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Kapasitansi Udara dan Air pada Frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz

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 4.7 dan 4.8 sebagai berikut.



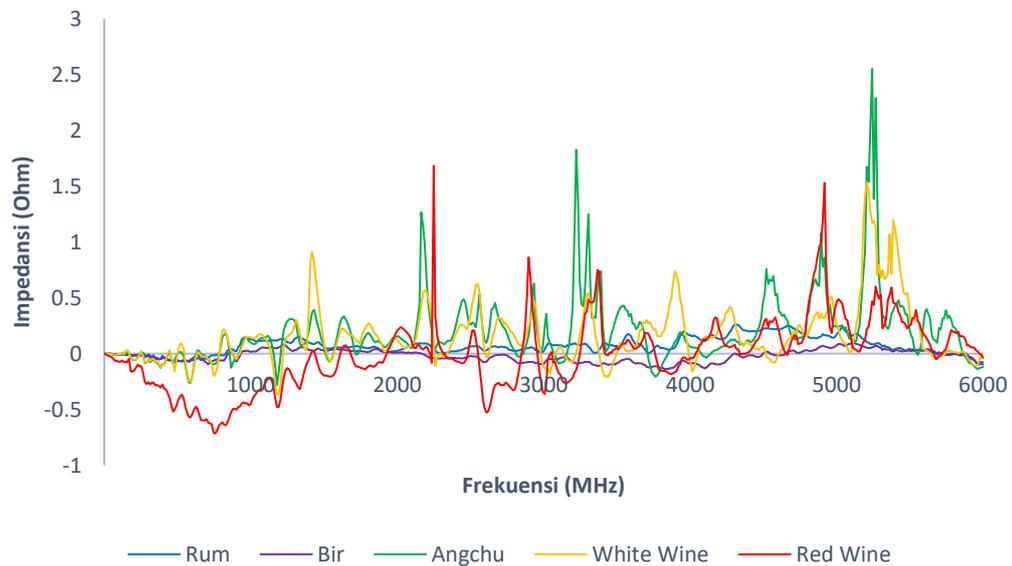
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Impedansi Udara, Air, Etanol dan Minuman Beralkohol pada Frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz



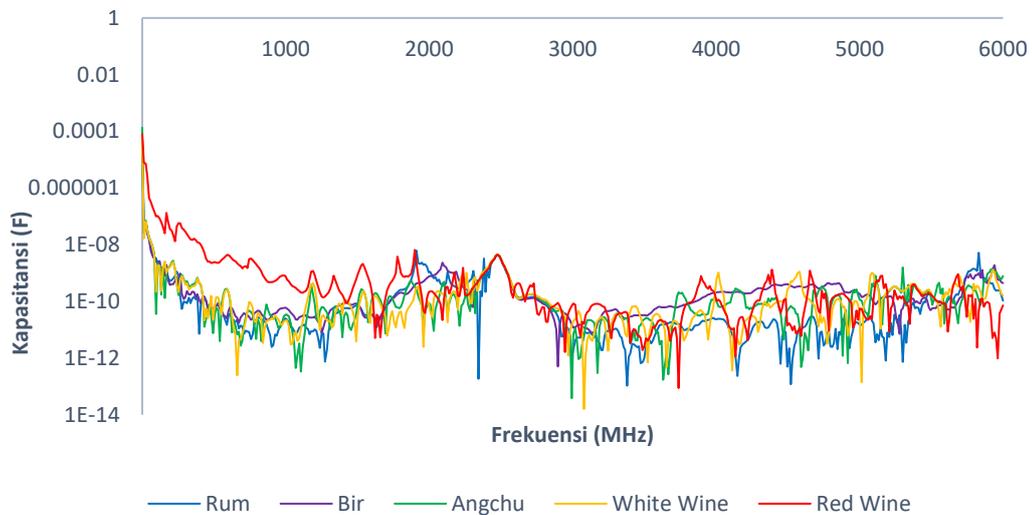
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Kapasitansi Udara, Air, Etanol dan Minuman Beralkohol pada Frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz

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.



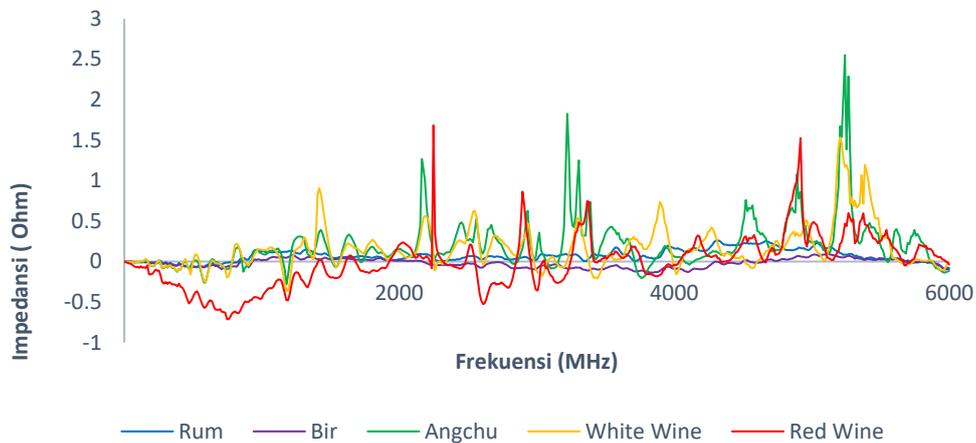
Gambar 4.9 Grafik Impedansi *Rum, Beer, Angchu, Red wine, dan White wine* Normalisasi dengan Udara pada Frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz



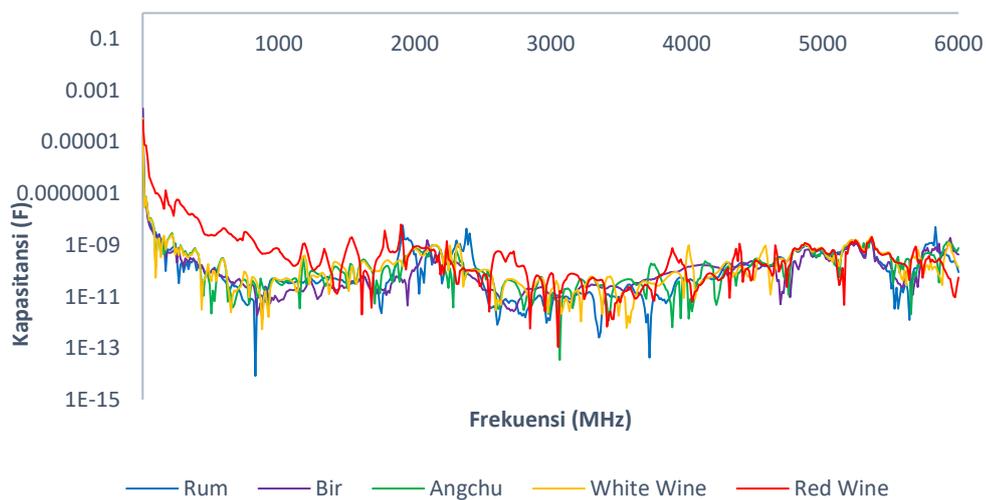
Gambar 4.10 Grafik Kapasitansi *Rum, Beer, Angchu, Red wine, dan White wine* Normalisasi dengan Udara pada Frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz

Pada gambar 4.9 dan 4.10 ditampilkan data impedansi dan kapasitansi 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 4.9 dan 4.10, 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 4.9 Grafik Impedansi *Rum, Beer, Angchu, Red Wine, dan White Wine* Hasil Normalisasi dengan Air pada Frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz



Gambar 4.10 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 4.7 [39].

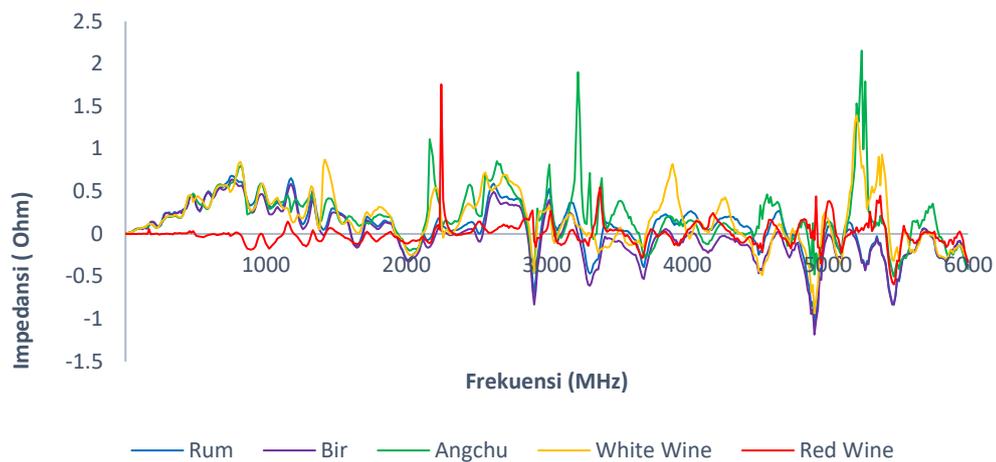
$$C = \frac{1}{2\pi fZ} \dots \dots \dots (4.7)$$

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 4.11 dan 4.12 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.

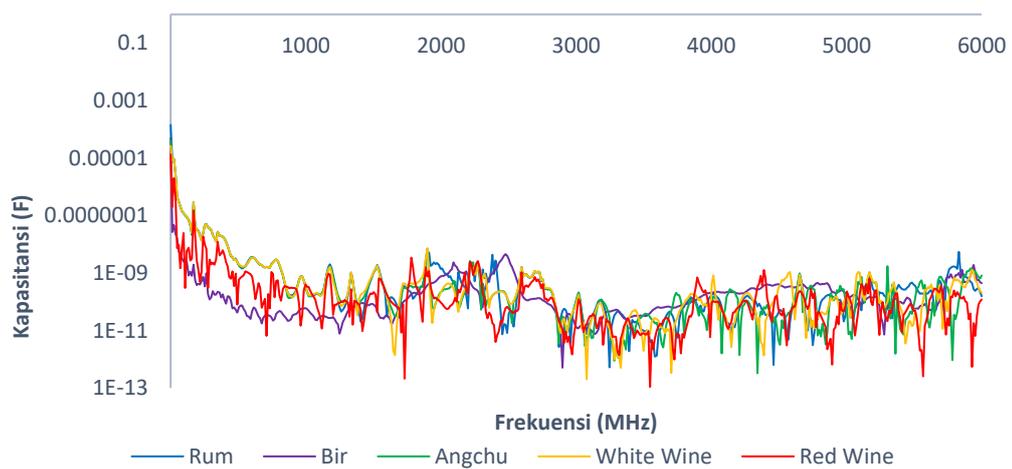
Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan oleh Schmidt dkk pada 2016, didapatkan bahwa nilai impedansi untuk etanol lebih tinggi dibandingkan dengan impedansi dari air namun lebih rendah dari udara. Peningkatan konsentrasi etanol

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 4.11 Grafik Impedansi *Rum, Beer, Angchu, Red Wine, dan White Wine*

Hasil Normalisasi dengan Etanol pada Frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz



Gambar 4.12 Grafik Kapasitansi *Rum, Beer, Angchu, Red Wine, dan White Wine*

Hasil Normalisasi dengan Etanol pada Frekuensi 100 kHz hingga 6 GHz