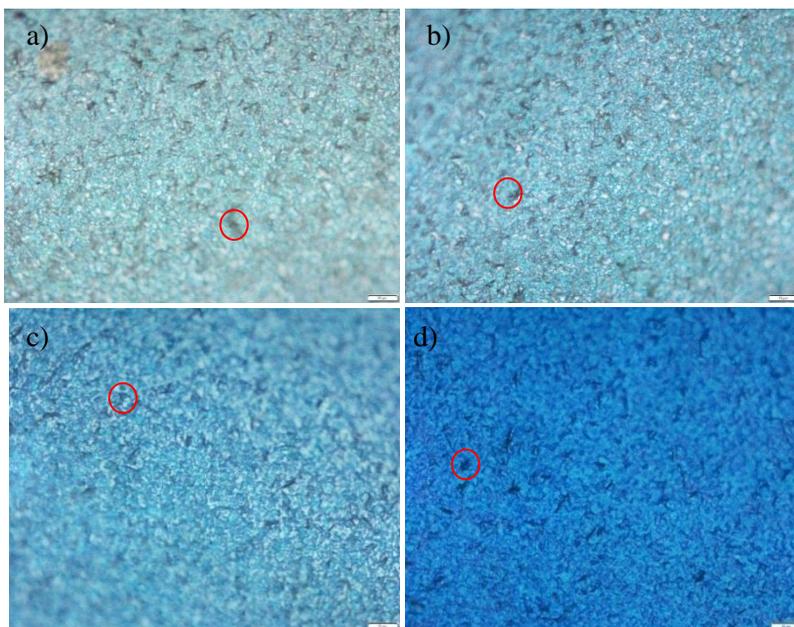


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Waktu Deposisi terhadap Lapisan CuPc yang Terbentuk

4.1.1 Pengaruh waktu deposisi CuPc terhadap morfologi lapisan CuPc yang terbentuk

Pada penelitian ini dilakukan pendeposisian bahan *Copper Phthalocyanine* (CuPc) diatas Ps/QCM. Pendeposisian CuPc dilakukan untuk meningkatkan jumlah molekul uap air yang teradsorpsi pada permukaan QCM, sehingga akan memperbesar perubahan massa pada permukaan QCM yang mengakibatkan semakin besarnya nilai perubahan frekuensi osilasi kristal dalam QCM. Perubahan frekuensi yang besar tersebut mengindikasikan bahwa sensor berbasis QCM memiliki sensitifitas yang tinggi. Pendeposisian CuPc dilakukan menggunakan evaporator dengan memvariasi waktu deposisi CuPc yaitu selama 3 menit, 4 menit, 5 menit, dan 6 menit. Variasi waktu deposisi dilakukan untuk menghasilkan lapisan CuPc dengan berbagai macam ketebalan yang berbeda. Lapisan aktif yang tebal diatas QCM diyakini dapat meningkatkan jumlah adsorpsi molekul air pada permukaan QCM. Lapisan CuPc yang telah terdeposisi pada permukaan Ps/QCM dianalisa morfologinya dengan menggunakan Mikroskop Optik Olympus DP73, dari mikroskop optik didapat hasil citra permukaan CuPc/Ps/QCM sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Hasil Mikroskop Optik dengan perbesaran 500x pada permukaan Ps/QCM yang dilapisi CuPc dengan waktu deposisi a). 3 menit, b). 4 menit, c). 5 menit, d). 6 menit.

Hasil citra Mikroskop Optik menunjukkan adanya perbedaan morfologi permukaan QCM untuk setiap waktu deposisi CuPc yang dilakukan. Nampak pada gambar 4.1 permukaan QCM didominasi warna biru yang merupakan warna alami bahan CuPc, menandakan bahwa CuPc telah terdeposisi pada permukaan QCM. Namun jika kita perhatikan berturut-turut gambar 4.1a, 4.1b, 4.1c, 4.1d memiliki kepekatan warna biru yang semakin tinggi. Kepekatan warna biru tersebut menunjukkan banyaknya partikel CuPc pada permukaan QCM, semakin pekat warna biru yang ditunjukkan semakin banyak pula massa CuPc yang terdeposisi pada permukaan QCM dan hal tersebut dapat mengindikasikan bahwa lapisan CuPc yang terbentuk semakin tebal. Seperti yang terlihat pada gambar 4.1a didominasi warna biru namun masih ditemukan adanya warna kuning kusam yang merupakan warna alami permukaan Ps, sehingga hal ini menunjukkan bahwa lapisan CuPc yang terbentuk tipis dan belum

merata. Berbeda sekali dengan gambar 4.1d yang memiliki warna sangat dominan biru, sehingga lapisan Ps sudah tidak terlihat lagi pada permukaan. Warna biru yang dominan menandakan bahwa lapisan CuPc yang terbentuk merata dan lebih tebal. Hasil citra mikroskop optik tidak hanya memberikan informasi tentang banyaknya CuPc yang terdeposisi pada permukaan QCM, namun jika dicermati lebih lanjut, gambar 4.1a,b,c,d terdapat pola hitam (bagian yang diberi tanda merah) pada permukaan yang berturut-turut semakin berkurang jumlahnya. Pola hitam tersebut menunjukkan bagian QCM yang bersifat transparan sehingga cahaya dari mikroskop tidak dipantulkan kembali, adanya bintik hitam menandakan adanya vacancy/rongga pada permukaan QCM. Berkurangnya jumlah sebaran pola hitam pada permukaan menunjukkan bahwa pada saat deposisi partikel CuPc mengisi rongga-rongga tersebut yang menyebabkan porositas dari permukaan QCM menjadi semakin turun.

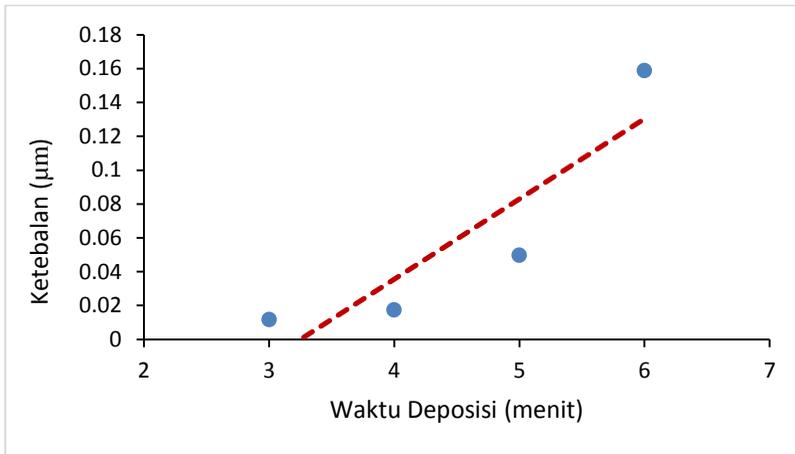
Warna pekat pada gambar 4.1 seperti dijelaskan sebelumnya bahwa dapat merepresentasikan banyaknya partikel CuPc yang terdeposisi yang berimbas pada ketebalan lapisan CuPc yang terbentuk pada permukaan QCM, dengan mengansumsikan lapisan CuPc yang terdeposisi pada Ps/QCM sebagai lapisan yang bersifat rigid, maka persamaan Sauerbrey yang telah dimodifikasi dapat digunakan untuk menghitung ketebalan lapisan CuPc yang terbentuk. Nilai ketebalan tersebut diperoleh dengan memasukkan variable-variabel yang telah diketahui nilainya seperti massa jenis CuPc ($\rho_{CuPc} = 1,62 \text{ g/cm}^3$), massa jenis Kuarsa ($\rho_{QCM} = 2,648 \text{ g/cm}^3$), modulus geser kuarsa ($G = 2,947 \times 10^{11} \text{ g/cms}^2$), frekuensi sebelum dilapisi CuPc (f_0) serta perubahan frekuensi (Δf) sebelum dan sesudah pelapisan CuPc ke dalam persamaan (4.1). Selain ketebalan dilakukan juga perhitungan massa CuPc yang terdeposisi diatasPs/QCM, dengan memasukkan nilai-nilai seperti sebelumnya dan juga nilai luas permukaan elektroda ($A= 0,16 \text{ cm}^2$) pada persamaan sauerbrey , sehingga data tersebut dapat disajikan dalam bentuk tabel sebagaimana ditunjukkan oleh tabel 4.1 berikut ini:

$$\Delta h = \frac{-\Delta f \sqrt{\rho \cdot G}}{2f_0^2 \cdot \rho_{CuPc}} \dots\dots\dots (4.1)$$

Tabel 4. 1 Ketebalan lapisan CuPc yang terbentuk untuk setiap waktu deposisi

Waktu Deposisi (menit)	Frekuensi Ps/QCM (Hz)	Frekuensi CuPc/Ps/QCM (Hz)	ΔF (Hz)	Δm CuPc (μg)	Δh CuPc (μm)
3	9989982	9989557	425	0,30	0,0116
4	9991563	9990928	635	0,45	0,0173
5	9990684	9988862	1822	1,29	0,0496
6	9982785	9976959	5826	4,11	0,1588

Tabel 4.1 dapat pula disajikan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 4.2 untuk mempermudah dalam menganalisa pengaruh waktu deposisi CuPc dengan ketebalan lapisan CuPc yang terbentuk diatas Ps/QCM melalui perhitungan persamaan Sauerbrey dengan mengasumsikan semua lapisan yang terbentuk memiliki sifat yang rigid.



Gambar 4.2 Grafik hubungan waktu deposisi CuPc dengan ketebalan lapisan CuPc yang terbentuk diatas Ps/QCM

Dari grafik pada gambar 4.2 diperoleh tren naik, yang berarti semakin lama waktu deposisi maka akan semakin tebal lapisan CuPc yang terbentuk pada permukaan Ps/QCM. Hal tersebut

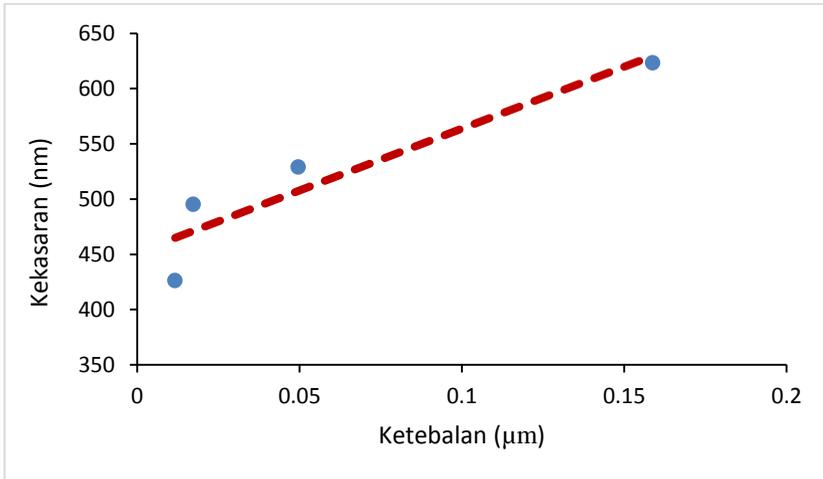
memungkinkan terjadi, karena ketika proses evaporasi serbuk padatan CuPc pada krusibel akan mendapatkan energi yang cukup untuk mengalami proses penyubliman menjadi gas CuPc. Setelah CuPc berubah menjadi wujud gas, shutter kaca dibuka dan substrat QCM terpapar CuPc dari krusibel. Oleh karena semakin lamanya paparan substrat QCM dengan gas CuPc dari krusibel, maka akan semakin banyak partikel CuPc yang terdeposisi pada permukaan QCM hal tersebut dapat dikonfirmasi dari data tabel 4.2 yang menunjukkan semakin besar perubahan massa pada QCM sejalan dengan bertambahnya waktu deposisi. Karena semakin banyak massa CuPc yang terdeposisi pada permukaan Ps/QCM menyebabkan lapisan CuPc yang terbentuk menjadi semakin tebal.

Morfologi lapisan CuPc yang terbentuk diatas Ps/QCM tidak hanya dianalisa menggunakan Mikroskop Optik untuk mengamati kenampakan permukaan CuPc/Ps/QCM, namun dilakukan juga pengamatan menggunakan *Tophography Measurement System* (TMS -1200 Polytech) untuk mengetahui tingkat kekasaran lapisan CuPc yang terbentuk diatas Ps/QCM. Kekasaran lapisan CuPc yang terbentuk diatas Ps/QCM dinyatakan dalam parameter (Ra) yang merupakan kekasaran rata-rata dari permukaan CuPc/Ps/QCM. Pengukuran kekasaran menjadi perlu untuk dilakukan karena kekasaran lapisan dapat mempengaruhi proses adsorpsi dan juga mempengaruhi respon molekul air pada permukaan QCM. Berikut ini hasil TMS untuk setiap ketebalan lapisan CuPc yang terbentuk disajikan dalam tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Kekasaran permukaan CuPc/Ps/QCM untuk setiap ketebalan CuPc yang terbentuk

Waktu Deposisi (menit)	Ketebalan (μm)	Kekasaran (nm)
3	0,0116	426,11
4	0,0173	495,21
5	0,0496	529,01
6	0,1588	623,18

Untuk mempermudah pembacaan tabel 4.2 disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.3 sebagai hubungan antara ketebalan dengan kekasaran lapisan CuPc yang terbentuk.



Gambar 4. 3 Grafik hubungan Ketebalan dan Kekasaran Lapisan CuPc yang terbentuk

Gambar 4.3 menunjukkan grafik dengan trend naik yang menandakan dengan semakin besarnya ketebalan lapisan CuPc yang terbentuk, kekasaran lapisan tersebut cenderung meningkat pula. Hal tersebut dimungkinkan, karena pada proses deposisi menggunakan metode evaporasi (PVD) partikel CuPc yang terdeposisi pada permukaan QCM memungkinkan untuk membentuk lapisan dengan model layer-island, model layer-island merupakan lapisan yang pada proses awalnya gas CuPc membentuk lapisan layer yang mengikuti bentuk substratnya namun kemudian partikel gas CuPc menumpuk pada beberapa bagian, sehingga terbentuk island. Terbentuknya island tersebut yang semakin lama semakin banyak tentunya dapat mempengaruhi nilai kekasaran permukaan QCM.

Kekasaran lapisan CuPc yang terbentuk diatas Ps/QCM tentunya berpengaruh terhadap respon lapisan ketika berinteraksi langsung dengan molekul air dari udara. Interaksi kontak antara lapisan dengan molekul air dapat ditunjukkan melalui tingkat hidrofobik (hidrofobitas) lapisan diatas QCM. Hidrofobitas

menunjukkan tingkat kemampuan lapisan menolak molekul air. Pengukuran Hidrofobisitas dilakukan dengan menganalisa sudut yang dibentuk akibat kontak lapisan dengan molekul air. Lapisan dikatakan hidrofobik bila lapisan membentuk sudut kontak $>90^\circ$ dengan molekul air, dan akan bersifat hidrofilik jika membentuk sudut kontak $<90^\circ$. Pengukuran hidrofobisitas lapisan dilakukan untuk mengetahui sifat lapisan ketika berinteraksi langsung dengan molekul air, sehingga dari hasil tersebut dapat diprediksi interaksi apa yang terjadi antara lapisan CuPc dengan molekul air. Dari hasil pengukuran sudut kontak didapatkan hasil sebagaimana ditunjukkan oleh tabel 4.3 berikut:

Tabel 4. 3 Hasil pengukuran sudut kontak untuk setiap waktu deposisi CuPc

Waktu Deposisi (menit)	Ketebalan (μm)	Sudut Kontak ($^\circ$)
3	0,0116	86,816
4	0,0173	87,663
5	0,0496	90,328
6	0,1588	92,213

Dari Tabel 4.3 diperoleh informasi bahwa dengan semakin tebal lapisan CuPc yang terbentuk pada permukaan Ps/QCM maka lapisan CuPc semakin kedap air atau semakin bersifat hidrofobik. Hal tersebut terjadi karena ketebalan lapisan CuPc yang meningkat berimbas pada peningkatan kekasaran permukaan lapisan di atas QCM. Jika hal tersebut kita hubungkan dengan teori Wenzel pada persamaan (4.2) adanya keterkaitan antara nilai kekasaran dengan sudut kontak antara lapisan dan molekul air. Sehingga jelas lapisan yang lebih kasar akan memiliki sudut kontak yang lebih besar dengan molekul air. Selain itu diawal juga sempat dibahas bahwa semakin lama waktu deposisi CuPc pada Ps/QCM porositas lapisan menjadi semakin rendah, berkurangnya pori-pori pada permukaan QCM mempengaruhi daya tolak air oleh permukaan QCM yang dilapisi CuPc.

$$\cos \theta_w = r \cos \theta_R \dots\dots\dots(4.2)$$

4.1.2 Pengaruh waktu deposisi CuPc terhadap Viskoelastisitas lapisan CuPc yang terbentuk

Viskoelastisitas merupakan salah satu sifat padatan yang berkaitan dengan deformasi mekanik bahan tersebut. Ketika QCM diberikan lapisan di atasnya, lapisan tersebut akan mempengaruhi karakteristik dari QCM itu sendiri. Jika lapisan di atas QCM memiliki tingkat viskoelastik yang rendah (rigid) maka frekuensi osilasi dari kristal QCM dan frekuensi dari lapisan rigid akan seirama, sehingga QCM tetap memiliki karakter seperti keadaan tanpa pelapisan. Namun ketika lapisan di atas QCM memiliki tingkat viskoelastik yang tinggi, maka akan ada disipasi energi antara kristal dengan lapisan permukaan QCM, hal tersebut menyebabkan frekuensi osilasi kristal dengan lapisan pada permukaan QCM tidak seirama yang mengakibatkan terganggunya osilasi kristal QCM. Pengukuran tingkat viskoelastik QCM dapat ditinjau dari parameter impedansi mekaniknya. Dalam pengukuran impedansi QCM digunakan rangkaian BVD untuk mengkonversi impedansi mekanik menjadi nilai impedansi listrik. Rangkaian BVD tersebut merupakan rangkaian dasar RLC seri, dimana nilai impedansi yang dibaca adalah ketika QCM berada pada frekuensi resonansinya. Nilai impedansi pada rangkaian RLC seri dinyatakan dalam persamaan (4.3) berikut ini:

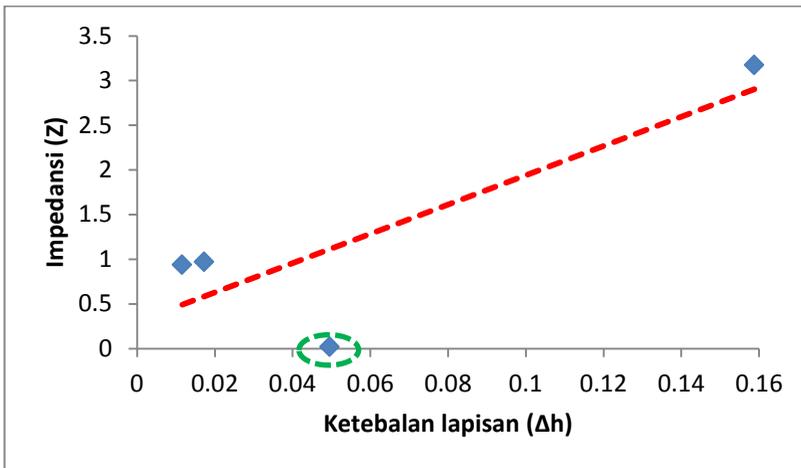
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \dots\dots\dots(4.3)$$

Karena impedansi yang diambil adalah ketika frekuensi resonansi, maka nilai “ X_L ” akan sama dengan “ X_C ”, sehingga nilai Z akan minimum. Oleh karena itu ketika nilai Z minimum yang dicatat sebagai nilai dari impedansi QCM, dan perubahan impedansi sebelum dan sesudah pelapisan menunjukkan impedansi dari lapisan yang terbentuk di permukaan QCM. Hasil pengukuran impedansi untuk setiap waktu deposisi menggunakan alat impedansi Analyzer disajikan dalam tabel 4.4 berikut ini:

Tabel 4. 4 Hasil pengukuran Impedansi untuk setiap waktu deposisi

Waktu deposisi	Ketebalan (Δh)	Z (QCM)	Z (Ps/QCM)	Z (CuPc/Ps/QCM)	Δ sebelum dan setelah deposisi CuPc
3 menit	0,0116 μ m	9,737 Ω	12,15 5 Ω	13,090 Ω	0,935 Ω
4 menit	0,0173 μ m	6,822 Ω	10,87 3 Ω	11,843 Ω	0,9699 Ω
5 menit	0,0496 μ m	6,266 Ω	6,139 Ω	6,157 Ω	0,0183 Ω
6 menit	0,1588 μ m	8,153 Ω	10,98 5 Ω	14,159 Ω	3,174 Ω

Informasi pada tabel 4.4 dapat dibuat grafik hubungan pengaruh ketebalan lapisan CuPc dengan impedansi setelah pelapisan CuPc, seperti yang disajikan pada gambar 4.4. Grafik pada gambar 4.4 dibuat untuk melihat trend hubungan ketebalan dan impedansi, agar mempermudah dalam menganalisa data yang diperoleh.

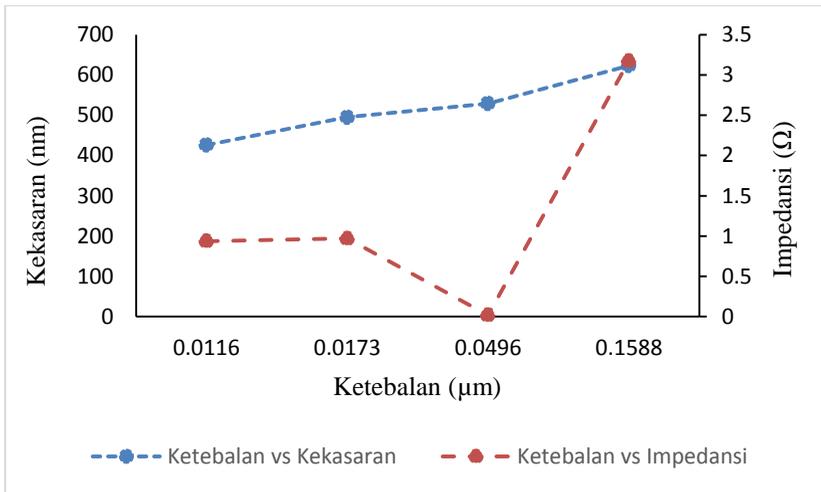


Gambar 4. 4 Grafik hubungan ketebalan lapisan CuPc yang terbentuk dengan nilai impedansinya

Gambar 4.4 menunjukkan trend grafik naik, hal tersebut menandakan bahwa semakin tebal lapisan CuPc yang terbentuk pada permukaan QCM, maka impedansi lapisan CuPc tersebut akan semakin tinggi. Impedansi yang tinggi tersebut dapat memberi efek pembebanan yang signifikan pada QCM, sehingga akan mengganggu frekuensi osilasi kristal QCM yang berimbas pada keefektifan QCM. Data grafik pada gambar 4.4 terdapat adanya anomali, yaitu pada nilai ketebalan lapisan sebesar $0,0496 \mu\text{m}$ (lihat lingkaran hijau) merupakan lapisan yang dibentuk dengan waktu deposisi 5 menit menunjukkan nilai impedansi yang lebih rendah dibandingkan dengan data yang lain. Anomali data terjadi pada data yang ditandai, karena nilai impedansi suatu lapisan pada QCM tidak hanya dipengaruhi oleh ketebalan lapisan yang dibentuk namun juga dipengaruhi oleh nilai modulus geser (G), perubahan frekuensi (Δf), serta temperatur (T) dari QCM tersebut. Nilai impedansi yang besar perlu diperhatikan, karena menyebabkan efek pembebanan yang signifikan pada kristal QCM, sehingga dapat mengganggu pembacaan frekuensi QCM.

Dari gambar 4.2 diketahui adanya hubungan antara ketebalan lapisan CuPc yang terbentuk dengan profil kekasaran permukaan CuPc diatas Ps/QCM. Dan dari gambar 4.4 juga kita dapatkan

hubungan antara ketebalan dengan impedansi lapisan CuPc yang terbentuk pada permukaan Ps/QCM, jika kita amati kedua gambar tersebut sama-sama memiliki keterkaitan dengan ketebalan lapisan CuPc yang terbentuk di permukaan QCM dengan berbagai waktu deposisi. Sehingga untuk mempermudah kita dalam memahami hubungan ketiga parameter (ketebalan, kekasaran, dan impedansi) kita dapat membuat plot grafik dengan ketentuan bergantung pada nilai ketebalan lapisan CuPc yang ditampilkan pada gambar 4.5 berikut:

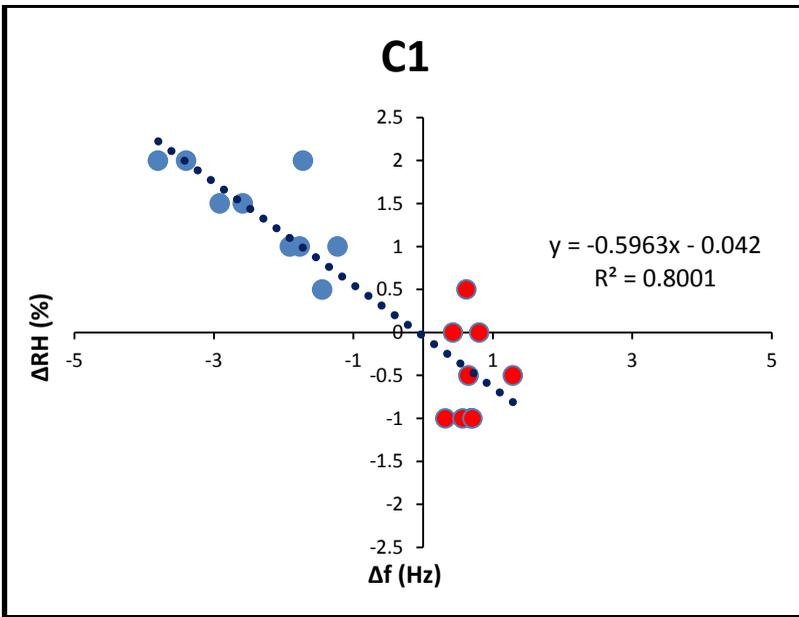


Gambar 4. 5 Hubungan ketebalan lapisan CuPc dengan Kekasaran lapisan CuPc dan impedansi lapisan CuPc yang terbentuk.

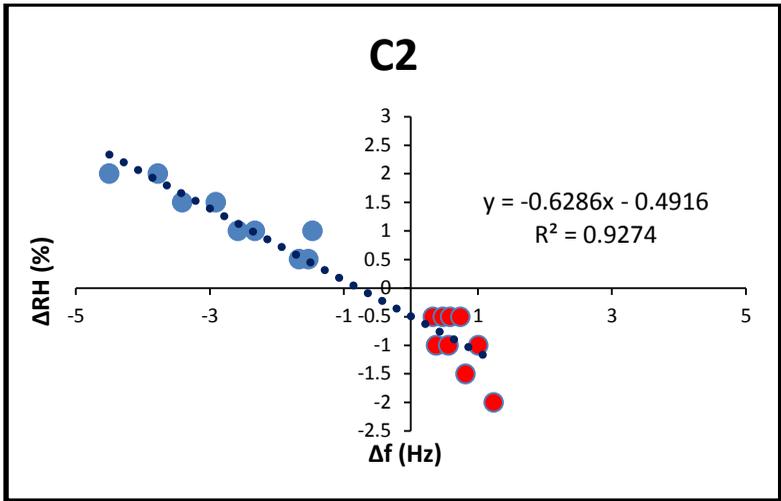
Dari gambar 4.5 diperoleh informasi bahwa dengan bertambah tebalnya lapisan CuPc yang terbentuk diatas QCM maka relatif meningkatkan nilai kekasaran dan impedansi lapisan CuPc tersebut. Kriteria lapisan dikatakan baik untuk pelapisan QCM sebagai aplikasi sensor kelembaban adalah lapisan yang dibentuk bersifat kasar dan memiliki efek pembebanan yang rendah untuk osilasi kristal QCM, sehingga melalui gambar 4.5 nampak jelas bahwa lapisan CuPc terbaik diperoleh pada ketebalan 0,0496 μm yaitu dengan waktu deposisi selama 5 menit. Pada ketebalan 0,0496 μm tersebut didapati nilai impedansi terendah dengan kekasaran yang cukup tinggi.

4.2 Pengaruh Ketebalan Lapisan CuPc terhadap Respon Kelembaban

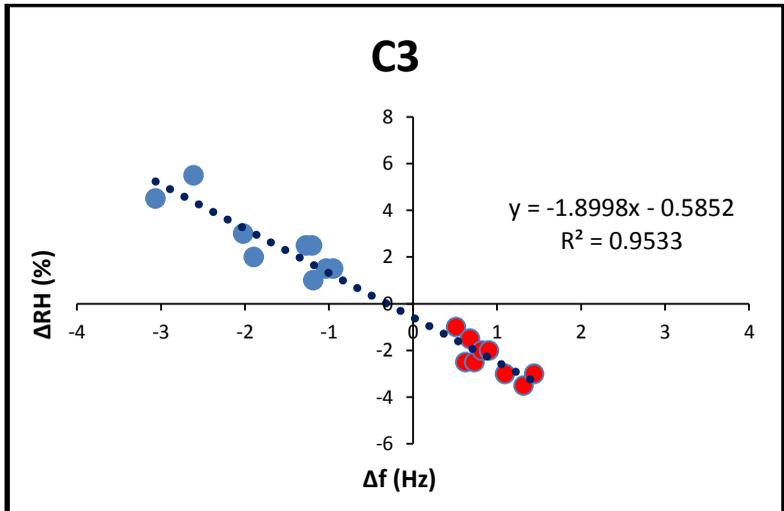
Pada penelitian ini dilakukan pengujian respon kelembaban QCM yang dilapisi dengan CuPc dengan berbagai variasi waktu deposisi. Pengujian dilakukan dalam chamber khusus yang telah terintegrasi dengan sensor kelembaban (SHT11) untuk mengetahui %RH lingkungan dan frekuensi counter yang digunakan untuk mengetahui perubahan frekuensi osilasi QCM. Pengujian dilakukan dalam dua tahap pengamatan, yaitu tahap kelembaban naik (tanda merah) dan tahap kelembaban turun (tanda biru). Hasil pengujian kelembaban diplot dalam bentuk grafik untuk setiap ketebalan.



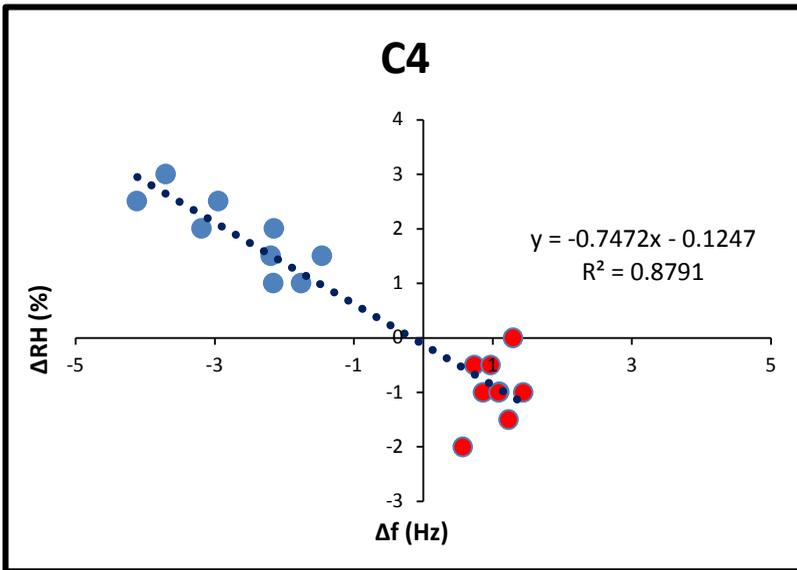
Gambar 4. 6 Grafik hubungan perubahan frekuensi terhadap perubahan %RH pada lapisan dengan ketebalan lapisan CuPc sebesar 0,0116 μm



Gambar 4. 7 Grafik hubungan perubahan frekuensi terhadap perubahan %RH pada lapisan dengan ketebalan lapisan CuPc sebesar 0,0173 μm



Gambar 4. 8 Grafik hubungan perubahan frekuensi terhadap perubahan %RH pada lapisan dengan ketebalan lapisan CuPc sebesar 0,0496 μm



Gambar 4. 9 Grafik hubungan perubahan frekuensi terhadap perubahan %RH pada lapisan dengan ketebalan lapisan CuPc sebesar 0,1588 μm

Dari grafik pada gambar 4.6 hingga 4.9 menunjukkan bahwa adanya perubahan frekuensi akibat respon perubahan kelembaban. Perubahan frekuensi tersebut menunjukkan bahwa ada perubahan massa di permukaan QCM yang diindikasikan sebagai massa uap air yang teradsorpsi pada lapisan CuPc. Sehingga dari hal tersebut terbukti bahwa lapisan CuPc dapat difungsionalisasikan sebagai lapisan aktif QCM untuk deteksi kelembaban. Jika kita amati grafik pada gambar 4.6 kelembaban naik memiliki perubahan frekuensi (sumbu x) maksimal di -1 Hz, hal tersebut lebih kecil dibandingkan dengan grafik yang lain. Kemudian jika kita bandingkan grafik pada gambar 4.7 dengan gambar 4.8 pada data kelembaban naik menunjukkan adanya perbedaan nilai maksimal perubahan frekuensi yaitu -2Hz dan -3,5Hz, hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan maka akan semakin banyak massa molekul air yang teradsorpsi pada permukaan QCM sehingga perubahan frekuensi yang terbaca lebih besar. Hal tersebut masuk akal terjadi karena semakin tebal lapisan CuPc maka akan semakin banyak populasi CuPc pada permukaan QCM sehingga akan semakin banyak terjadi

interaksi CuPc dengan molekul air. Banyaknya interaksi tersebut mengakibatkan semakin banyak molekul air yang teradsorpsi pada permukaan QCM, dan semakin besar pula perubahan frekuensi yang dialami QCM itu sendiri. Namun pada gambar 4.9 terjadi penurunan nilai maksimum perubahan frekuensi untuk kelembaban naik yaitu hanya sampai nilai -2Hz. Hal tersebut dimungkinkan terjadi karena pada waktu deposisi 6 menit, ketebalan yang dihasilkan memiliki impedansi yang cukup tinggi dibandingkan dengan yang lain, impedansi yang tinggi tersebut dapat mengganggu perubahan frekuensi osilasi kristal QCM sebagai respon perubahan massa pada permukaan QCM, sehingga frekuensi yang terbaca relatif kecil. Kemudian dari grafik juga diperoleh nilai kelembaban turun, kelembaban turun menunjukkan bahwa interaksi lapisan CuPc dengan molekul air bersifat *reversible* (balik). Pembahasan grafik dari gambar 4.6 hingga 4.9 tidak hanya terbatas nilai maksimum dari perubahan frekuensi akibat perubahan nilai %RH. Namun jika kita amati trendline pada grafik grafik 4.8 yaitu data respon kelembaban pada QCM dengan deposisi CuPc 5 menit memiliki nilai kemiringan (0,5433) yang lebih rendah dibandingkan dengan grafik 4.6 , 4.7 , 4.9 . Kemiringan yang rendah menunjukkan sensitifitas dari QCM tersebut, karena sensitifitas QCM sebagai sensor kelembaban dapat dilihat dari respon perubahan frekuensi untuk setiap perubahan kelembaban ($\frac{\Delta f}{\Delta RH}$), jika respon perubahan frekuensi akibat perubahan kelembaban tinggi maka sensor QCM dapat dikatakan sensitif. Untuk mempermudahnya dapat diringkas hubungan kemiringan (M) dalam persamaan (4.4) hingga (4.5) berikut ini:

$$M = \tan \theta \quad \dots\dots\dots(4.4)$$

$$M = \frac{\text{depan}}{\text{samping}} = \frac{\Delta f}{\Delta RH} \quad \dots\dots\dots(4.5)$$

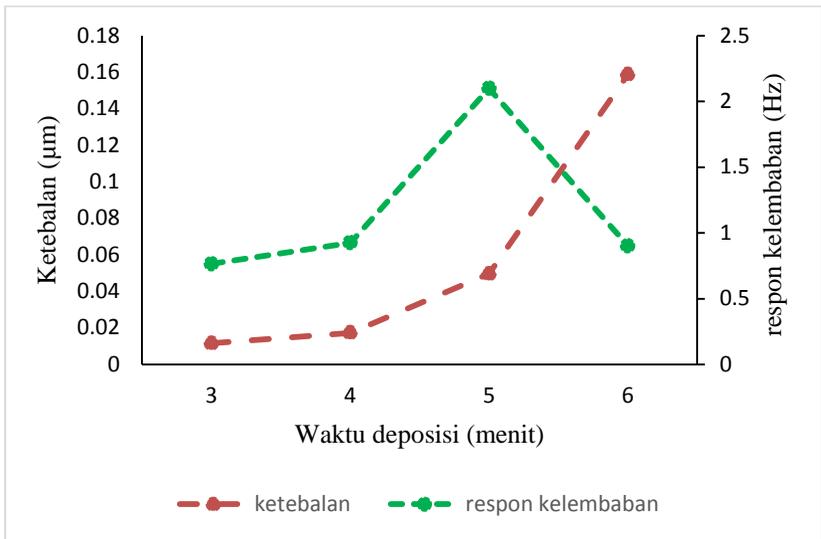
Sehingga ketika nilai kemiringan grafik (M) besar maka nilai laju perubahan frekuensi akibat perubahan kelembaban akan semakin besar, dan sensor QCM dikatakan sensitif.

Respon QCM yang terlapis CuPc/Ps terhadap perubahan nilai kelembaban relatif dalam chamber dapat dibandingkan dengan respon QCM yang terlapis ZnPc/Ps terhadap perubahan nilai kelembaban relatif. Data respon QCM yang terlapis ZnPc/Ps

diperoleh dari data penelitian Assaibany(2016). Lapisan CuPc (0Hz-3,5Hz) pada QCM memiliki respon perubahan frekuensi yang lebih besar dibandingkan lapisan ZnPc (0Hz-3Hz) untuk variasi waktu deposisi yang sama. Nilai perubahan frekuensi menunjukkan bahwa molekul uap air lebih banyak teradsorpsi pada lapisan CuPc dibandingkan lapisan ZnPc, sehingga penambahan massa pada permukaan QCM dengan pelapisan CuPc menyebabkan frekuensi osilasi QCM menjadi lebih besar perubahannya. Perbedaan kemampuan mengadsorpsi molekul air pada lapisan ZnPc dan CuPc dapat terjadi karena adanya perbedaan morfologi antara lapisan yang terbentuk pada pelapisan CuPc dan ZnPc. Perubahan frekuensi optimal pada lapisan CuPc yaitu dengan waktu deposisi 5 menit, didapatkan hasil kekasaran yang lebih besar dibandingkan pelapisan ZnPc, sehingga molekul air yang terjebak pada permukaan CuPc lebih banyak oleh pengaruh efek *trapped water*. Jenis CuPc dan ZnPc dimungkinkan juga mempengaruhi daya adsorpsi molekul air, karena interaksi Van der Waals dan elektrostatik pada jenis MPc sangat dipengaruhi logam intinya. Dimana Cu^{2+} merupakan golongan logam transisi IB, dan Zn^{2+} merupakan golongan IIB sehingga sifat dan karakternya berbeda dari segi interaksi dengan molekul polar.

Respon kelembaban yang disajikan menunjukkan hubungan dengan ketebalan lapisan CuPc yang terbentuk diatas Ps/QCM. Ketebalan lapisan CuPc yang berbeda tersebut diperoleh dengan mengontrol waktu deposisi CuPc. Sehingga secara langsung waktu deposisi CuPc mempengaruhi sensitivitas QCM terhadap perubahan kelembaban. Jika kita plot hubungan tersebut menjadi grafik, maka akan tersaji sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 4.10.

Dari gambar 4.10 diketahui bahwa dengan semakin lamanya waktu deposisi lapisan CuPc, maka lapisan CuPc akan semakin tebal yang artinya semakin banyak massa CuPc di permukaan QCM sehingga molekul uap air diudara banyak yang berinteraksi dengan permukaan QCM sehingga respon kelembabannya menjadi semakin baik seperti yang ditunjukkan grafik warna hijau dimana sensitivitas QCM merespon perubahan kelembaban relative naik dengan bertambahnya waktu deposisi.



Gambar 4. 10 Hubungan waktu deposisi CuPc dengan ketebalan yang terbentuk diatas QCM dan perilaku terhadap respon kelembaban.

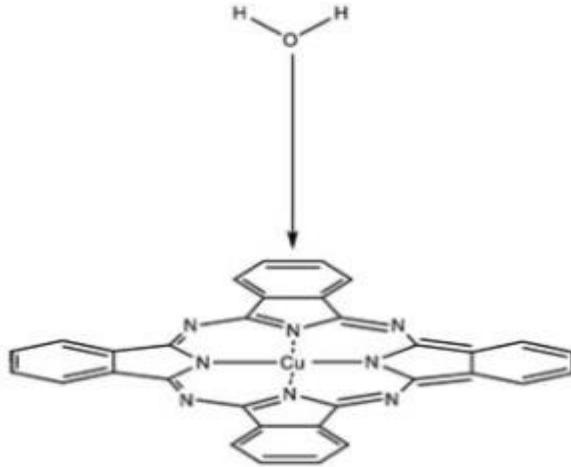
4.3 Mekanisme interaksi lapisan CuPc dengan molekul uap air

Pada pembahasan sebelumnya telah dilakukan banyak analisa tentang sifat dan karakter lapisan CuPc serta responnya terhadap perubahan kelembaban. Dari analisa hidrofobisitas diketahui bahwa lapisan CuPc memiliki sifat hidrofobik yang artinya interaksi molekul air hanya terjadi pada permukaan QCM sehingga interaksi tersebut dapat dikategorikan sebagai interaksi adsorpsi. Selanjutnya dari respon kelembaban turun diketahui bahwa terjadi interaksi balik antara lapisan CuPc dengan molekul air, jika kita mengacu pada tabel 4.5 interaksi balik tersebut mengindikasikan bahwa interaksi adsorpsi yang terjadi pada permukaan CuPc/Ps/QCM adalah jenis adsorpsi fisika (*Physisorption*).

Tabel 4. 5 Klasifikasi Adsorpsi (Micromeritics Intrumen Corporation,2017)

	Adsorpsi secara Kimia	Adsorpsi secara Fisika
Jangkauan temperatur	Tidak terbatas	Dekat atau diatas titik embun gas
Entalpi Adsorpsi	Biasanya (80-800 kJ/mol)	Biasanya (5-80 kJ/mol)
Sifat adsorpsi	Irreversible	Reversible
Titik Jenuh	Terbatas pada satu lapisan	Perbentukan banyak lapisan
Kinetika proses Adsorpsi	Kecepatan berubah bergantung proses aktifasi	Cepat tanpa adanya proses aktifasi

Physisorption sendiri merupakan interaksi pada permukaan padatan tanpa melalui proses kimiawi. Adsorpsi jenis ini dapat terjadi karena adanya interaksi Van der Waals atau interaksi elektrostatik antara permukaan dengan molekul gas, dalam kasus ini adalah interaksi antara lapisan CuPc dengan molekul air. Seperti yang diketahui, bahwa molekul air merupakan molekul kovalen polar dengan polaritas negatif pada atom oksigen dan polaritas positif pada bagian atom hidrogennya. Sedangkan CuPc merupakan jenis *Metal Phthalocyanine* dengan logam intinya adalah Copper yang merupakan kation (Cu^{2+}) yang berinteraksi lemah dengan rantai phthalocyanine. Ketika molekul air yang bersifat polar mengalami kontak dengan lapisan CuPc, dimungkinkan dipol negatif air tertarik oleh kation dari CuPc membentuk interaksi ion-dipol seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Ilustrasi interaksi molekul polar air dengan kation CuPc

Proses adsorpsi tidak hanya dipengaruhi dari interaksi antara kation CuPc dengan molekul air, morfologi dari permukaan lapisan CuPc juga mempengaruhi molekul uap air yang teradsorpsi pada permukaan CuPc/Ps/QCM. Hal tersebut dibuktikan pada data yang diperoleh, dengan nilai kekasaran permukaan yang lebih tinggi, perubahan frekuensi akibat respon perubahan kelembaban semakin meningkat. Hal tersebut memungkinkan terjadi, akibat profil permukaan yang kasar akan meningkatkan jumlah molekul air yang terjebak pada permukaan, sehingga molekul air tidak mudah lepas dari permukaan CuPc. Sehingga massa pada permukaan QCM semakin banyak dan frekuensi osilasinya besar dan mudah diamati.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)