

**TUGAS AKHIR – TL184834**

**ANALISIS MORFOLOGI DAN PERFORMA ANTIBAKTERI  
KOMPOSIT *NANOFIBER QUANTUM DOTS* Cu<sub>2</sub>O dan  
Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>**

**EGA OKTRILIARDI**  
NRP. 0251184000013

Dosen Pembimbing  
**Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph. D.**  
NIP. 1992202012023  
**Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.**  
NIP. 198902132020122016

**Program Studi Teknik Material**  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022





**TUGAS AKHIR – TL184834**

**ANALISIS MORFOLOGI DAN PERFORMA ANTIBAKTERI  
KOMPOSIT *NANOFIBER QUANTUM DOTS* Cu<sub>2</sub>O dan  
Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>**

**EGA OKTRILIARDI**  
NRP. 0251184000013

Dosen Pembimbing  
**Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph. D.**  
NIP. 1992202012023  
**Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.**  
NIP. 198902132020122016

**Program Studi Teknik Material**  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

*(This page is intentionally left blank)*



**FINAL PROJECT – TL184834**

**ANALYSIS OF MORPHOLOGY AND ANTIBACTERIAL  
PERFORMANCE OF QUANTUM DOTS NANOFIBER  
COMPOSITES  $\text{Cu}_2\text{O}$  AND  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$**

**EGA OKTRILIARDI**  
NRP. 0251184000013

Advisor

**Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph. D.**  
NIP. 1992202012023

**Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.**  
NIP. 198902132020122016

**Study Program of Materials Engineering**  
Departement of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LEMBAR PENGESAHAN





### ANALISIS MORFOLOGI DAN PERFORMA ANTIBAKTERI KOMPOSIT NANOFIBER QUANTUM DOTS $\text{Cu}_2\text{O}$ DAN $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Teknik Material  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **EGA OKTRILIARDI**  
NRP. 0251184000013

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph. D.  Pembimbing
2. Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.  Ko-Pembimbing
3. Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.  Penguji
4. Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA  Penguji



Juli, 2022

**SURABAYA**  
**Juli, 2022**

*(This page is intentionally left blank)*



## APPROVAL SHEET





### ANALYSIS OF MORPHOLOGY AND ANTIBACTERIAL PERFORMANCE OF QUANTUM DOTS NANOFIBER COMPOSITES Cu<sub>2</sub>O AND Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>

#### FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a degree of bachelor of engineering at  
Undergraduate Study Program of Materials Engineering  
Departement of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **EGA OKTRILIARDI**  
NRP. 0251184000013

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph. D.  Advisor
2. Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.  Co-Advisor
3. Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.  Examiner
4. Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA  Examiner



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Ega Oktriliardi/ 02511840000013  
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi  
Dosen Pembimbing/NIP : Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph. D./  
1992202012023

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS MORFOLOGI DAN PERFORMA ANTIBAKTERI KOMPOSIT *NANOFIBER QUANTUM DOTS* Cu<sub>2</sub>O DAN Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

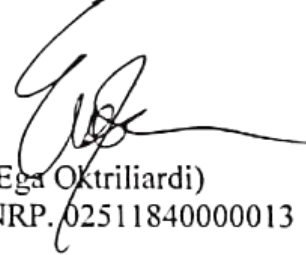
Mengetahui  
Dosen Pembimbing



(Azzah Dyah Pramata., S.T., M.T., M.Eng., Ph. D.)  
NIP. 1992202012023

Surabaya, 11 Juli 2022

Mahasiswa



(Ega Oktriliardi)  
NRP. 02511840000013

*(This page is intentionally left blank)*

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student/NRP : Ega Oktriliardi/ 02511840000013  
Department : Materials and Metallurgical Engineering  
Advisor/NIP : Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph. D./  
1992202012023

Hereby declare that the Final Project with the title of “ANALYSIS OF MORPHOLOGY AND ANTIBACTERIAL PERFORMANCE OF QUANTUM DOTS NANOFIBER COMPOSITES  $\text{Cu}_2\text{O}$  AND  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ ” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

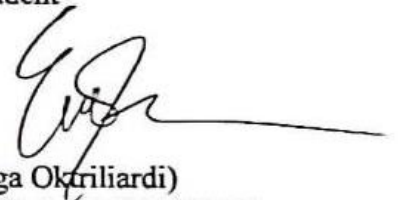
Acknowledged  
Advisor



(Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph. D.)  
NIP. 1992202012023

Surabaya, July 11<sup>th</sup> 2022

Student



(Ega Oktriliardi)  
NRP. 02511840000013

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## ANALISIS MORFOLOGI DAN PERFORMA ANTIBAKTERI KOMPOSIT NANOFIBER QUANTUM DOTS Cu<sub>2</sub>O DAN Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>

Nama Mahasiswa / NRP : Ega Oktriliardi/ 0251184000013  
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS  
Dosen Pembimbing : Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph. D.  
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

### Abstrak

Dalam optimalisasi aplikasi material komposit *nanofiber* antibakteri, studi komprehensif mengenai morfologi permukaan dan hubungannya terhadap sifat antibakteri perlu dilakukan. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan memahami morfologi permukaan komposit *nanofiber quantum dots*, sifat antibakteri yang dimiliki, serta hubungan morfologi komposit *nanofiber quantum dots* terhadap sifat antibakteri yang dimiliki. Dalam penelitian ini, *quantum dots* disintesis menggunakan metode *wet chemical*. Sedangkan fabrikasi *nanofiber quantum dots* dilakukan dengan teknik *electrospinning* dengan variasi QDs yang disematkan yaitu Cu<sub>2</sub>O dan Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> QDs dengan konsentrasi 1,1 dan 15 ppm masing-masing. Adapun objek analisis penelitian ini berupa diameter fiber, kekasaran permukaan, hidrofobisitas, ukuran pori dan muatan permukaan dari masing-masing sampel. Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan diameter fiber hasil fabrikasi untuk variasi Cu<sub>2</sub>O 1,1 ppm, Cu<sub>2</sub>O 15 ppm, Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 1,1 ppm, dan Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 15 ppm adalah 512.92± 8.32 nm, 502.54± 209 nm, 632.67 ± 5.76 nm, 343.02± 14,30 nm berturut-turut dimana pada variasi NF tanpa QDs memiliki nilai diameter fiber 322,96 ± 4,64 nm. Sedangkan kekasaran permukaan tiap sampel 180.132 nm, 219.395 nm, 165.434 nm, 243.461 nm berturut-turut. Dalam aspek hidrofobisitas setiap sampel memiliki sifat hidrofobik dengan nilai *contact angle* 111°, 136°, 126°, 129° tiap sampel berturut-turut. Nilai *pore size* yang dihasilkan pada tiap sampel adalah 3.124 nm, 7.316 nm, 10.034 nm, 11.457 nm berturut-turut. Sedangkan, nilai zeta potensial yang mewakili sampel PAN/PCL, Cu<sub>2</sub>O QDs, Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> QDs, PAN/PCL/Cu<sub>2</sub>O, PAN/PCL/Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> adalah -8.12 mV, -2.89mV, 1.29 mV, -25 mV, -4.81 mV. Berdasarkan rangkaian penelitian yang sudah dilakukan, komposit *nanofiber quantum dots* memiliki morfologi yang berbeda-beda pada setiap variasi. Sifat antibakteri komposit *nanofiber quantum dots* Cu<sub>2</sub>O dan Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> menunjukkan adanya sifat antibakteri yang berbeda bergantung pada konsentrasi QDs yang disematkan. Sedangkan, melalui hasil observasi dan analisis yang dilakukan ditemukan bahwa morfologi permukaan komposit nanofiber memberikan pengaruh terhadap performa antibakteri yang dimiliki, baik itu dalam hal meningkatkan performa antibakteri yang dimiliki, ataupun justru menurunkan performa antibakteri yang dimiliki.

**Kata Kunci:** *Nanofiber, Quantum Dots, Morfologi, Antibakteri*

*(This page is intentionally left blank)*



## ANALYSIS OF MORPHOLOGY AND ANTIBACTERIAL PERFORMANCE OF QUANTUM DOTS NANOFIBER COMPOSITES Cu<sub>2</sub>O AND Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>

**Student Name / NRP** : Ega Oktriliardi/0251184000013  
**Departement** : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS  
**Advisor** : Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph. D.  
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

### Abstract

In optimizing the application of antibacterial nanofiber composite materials, a comprehensive study of the surface morphology and its relationship to antibacterial properties needs to be carried out. This research aimed to understand the surface morphology of the nanofiber quantum dots composite, its antibacterial properties, and the morphological relationship of the quantum nanofiber composite to its antibacterial properties. In this study, quantum dots were synthesized using the wet chemical method. At the same time, the nanofiber quantum dots fabrication was carried out by electrospinning technique with variations of embedded QDs, namely Cu<sub>2</sub>O and Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> QDs with concentrations of 1.1 and 15 ppm, respectively. The object of this research analysis is fiber diameter, surface roughness, hydrophobicity, pore size, and surface charge of each sample. From the research that has been carried out, the diameter of the fabricated fiber for variations of Cu<sub>2</sub>O 1.1 ppm, Cu<sub>2</sub>O 15 ppm, Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 1.1 ppm, and Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 15 ppm is 512.92±8.32 nm, 502.54±209 nm, 632.67±5.76 nm, 343.02±14.30 nm respectively while the NF variant without QDs acquiring 322,96±4,64 nm in fiber diameter. Meanwhile, the surface roughness of each sample was 180,132 nm, 219,395 nm, 165,434 nm, and 243,461 nm, respectively. Regarding hydrophobicity, each sample has hydrophobic properties with contact angle values of 111°, 136°, 126°, and 129° for each sample respectively. The resulting pore size values for each sample were 3,124 nm, 7,316 nm, 10,034 nm, and 11,457 nm, respectively. Meanwhile, the zeta potential values representing samples of PAN/PCL, Cu<sub>2</sub>O QDs, Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> QDs, PAN/PCL/Cu<sub>2</sub>O, PAN/PCL/Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> are -8.12 mV, -2.89mV, 1.29 mV, -25 mV, - 4.81 mV. Based on a series of studies that have been carried out, nanofiber quantum dots composites have different morphologies in each variation. Antibacterial properties of nanofiber quantum dots Cu<sub>2</sub>O and Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> composites showed different antibacterial properties depending on the concentration of embedded QDs. Meanwhile, through the results of observations and analyzes, it was found that the surface morphology of the nanofiber composite had an influence on its antibacterial performance, both in terms of increasing its antibacterial performance or decreasing its antibacterial performance.

**Keywords:** *Nanofiber, Quantum Dots, Morphology, Antibacteria*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul, “ANALISIS MORFOLOGI DAN PERFORMA ANTIBAKTERI KOMPOSIT NANOFIBER QUANTUM DOTS  $\text{Cu}_2\text{O}$  dan  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ ”. terselesaikannya laporan tugas akhir ini tidak luput dari dukungan, bantuan, motivasi serta partisipasi dari berbagai pihak, untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D. dan Ibu Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir atas segala ilmu, bimbingan dan dukungan kepada penulis hingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M..Si., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS
3. Bapak Lukman Noerochim S.T., M.Sc.Eng., Ph.D. selaku dosen wali penulis yang senantiasa memberikan arahan dan bimbingan selama masa perkuliahan.
4. Bapak/Ibu Dosen yang telah membimbing dan memberikan banya ilmu serta pengalaman kepada penulis
5. Orang tua, keluarga, dan teman kuliah penulis yang senantiasa memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangatlah berarti bagi penulis. Terlebih, penulis hanya dapat berharap laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pihak terkait.

Surabaya, 11 Juli 2022  
Penulis

Ega Oktriliardi

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

.....	i
.....	iii
<b>Abstrak</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xxi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Nanopartikel dan <i>Quantum dots</i> .....	3
2.2 $Cu_xO$ <i>Quantum dots</i> .....	3
2.2.1 $TiO_2$ .....	4
2.2.2 Metode Sintesis Wet Chemical .....	5
2.3 <i>Nanofiber</i> .....	5
2.3.1 Metode <i>Electrospinning</i> .....	6
2.4 <i>Polyacrylonitrile</i> .....	7
2.5 <i>Polycaprolactone</i> .....	8
2.6 Komposit Nanopartikel/ <i>Nanofiber</i> Pada Aplikasi Antibakteri .....	9
2.6.1 Morfologi .....	9
2.6.2 Hidrofobisitas .....	11
2.6.3 <i>Surface Charge</i> .....	12
2.7 Penelitian Pendahuluan .....	12
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>17</b>
3.1 Diagram Alir .....	17
3.2 Alat dan Bahan .....	21
3.2.1 Alat Penelitian .....	21
3.2.2 Bahan Penelitian .....	21
3.3 Metode Penelitian .....	22
3.3.1 Sintesis Nanopartikel $Cu_2O$ .....	22
3.3.2 Sintesis Nanopartikel $Cu_2O/TiO_2$ .....	22
3.3.3 Sintesis <i>Nanofiber</i> dengan Metode <i>Electrospinning</i> .....	22
3.4 Proses Pengujian .....	22
3.4.1 Pengujian XRD .....	22
3.4.2 Pengujian Sifat Optik .....	23
3.4.3 Pengujian SEM-EDX .....	24
3.4.4 Pengujian TEM .....	24
3.4.5 Pengujian AFM .....	25
3.4.6 Pengujian Zeta potensial .....	25
3.4.7 Pengujian Hidrofobisitas .....	26
3.4.8 Pengujian Antibakteri .....	26
3.4.9 Pengujian BET .....	26
3.5 Rancangan Penelitian .....	27

<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>29</b>
4.1 Hasil Pengamatan Visual .....	29
4.2 Pengujian XRD dan FTIR.....	29
4.1.1 Hasil Pengujian XRD.....	29
4.1.2 Hasil Pengujian FTIR.....	31
4.2 Hasil Analisis EDX Mapping .....	32
4.3 Hasil Pengujian TEM.....	33
4.4 Hasil Pengujian SEM.....	34
4.5 Hasil Pengujian AFM.....	36
4.6 Hasil Pengujian Hidrofobisitas .....	38
4.7 Hasil Pengujian BET.....	39
4.8 Hasil Pengujian Zeta Potensial .....	39
4.9 Hasil Pengujian Antibakteri .....	39
4.9.1 Pengujian antibakteri pada sampel <i>nanofiber</i> kontrol.....	39
4.9.2 Pengujian antibakteri pada sampel <i>nanofiber quantum dots</i> .....	40
4.10 Analisis Pengaruh Variasi QDs Terhadap Morfologi Permukaan <i>Nanofiber-Quantum Dots</i> .....	41
4.11 Analisis Pengaruh Variasi QDs Terhadap Performa Antibakteri <i>Nanofiber-Quantum Dots</i> .....	43
4.12 Analisis Hubungan Morfologi Permukaan Terhadap Performa Antibakteri <i>Nanofiber Quantum Dots</i> .....	44
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>47</b>
5.1 Kesimpulan .....	47
5.2 Saran.....	47
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>55</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>77</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>79</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Warna emisi dari <i>carbon quantum dots</i> (CQDs), yang disinari oleh sinar tampak (kiri) dan sinar UV (kanan) (Bakirhan & Ozkan, 2018).....	3
<b>Gambar 2.2</b> Struktur kristal TiO <sub>2</sub> .....	4
<b>Gambar 2.3</b> Metode sintesis nanopartikel <i>Top Down</i> dan <i>Bottom Up</i> (Sasidharan et al., 2019).....	5
<b>Gambar 2.4</b> Skema rangkaian alat <i>electrospinning</i> (Kurečić & Smole, 2013).....	6
<b>Gambar 2.5</b> Berbagai parameter yang berpengaruh pada proses <i>electrospinning</i> (Long et al., 2018).....	7
<b>Gambar 2.6</b> Struktur molekul <i>polyacrylonitrile</i> (McKeen, 2012).....	8
<b>Gambar 2.7</b> Struktur molekul polycaprolactone (McKeen, 2012).....	9
<b>Gambar 2.8</b> Hasil SEM yang memperlihatkan bagaimana bakteri <i>E. coli</i> menempel pada kondisi ukuran fiber yang berbeda(Abrigo et al., 2015).....	10
<b>Gambar 2.9</b> Kecenderungan proliferasi bakteri <i>S. aureus</i> pada diameter fiber yang lebih besar(Abrigo et al., 2015).....	10
<b>Gambar 2.10</b> Perbandingan tampilan koloni bakteri terhadap ukuran porositas yang berbeda(Feng et al., 2015).....	11
<b>Gambar 2.11</b> <i>Roadmap</i> Penelitian Cu <sub>2</sub> O QDs dan <i>Nanofiber</i> .....	15
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir keseluruhan penelitian.....	17
<b>Gambar 3.2</b> Diagram alir sintesis Cu <sub>2</sub> O QDs.....	18
<b>Gambar 3.3</b> Diagram alir sintesis Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> QDs.....	19
<b>Gambar 3.4</b> Diagram alir sintesis <i>Nanofiber</i> -QDs.....	20
<b>Gambar 3.5</b> Contoh alat pengujian XRD.....	23
<b>Gambar 3.6</b> Contoh alat pengujian uV-Vis.....	24
<b>Gambar 3.7</b> Contoh instrumen pengujian SEM-EDX.....	24
<b>Gambar 3.8</b> Instrumen pengujian TEM.....	25
<b>Gambar 3.9</b> Instrumen pengujian AFM.....	25
<b>Gambar 3.10</b> Instumen pengujian Zeta potensial.....	26
<b>Gambar 3.11</b> Contoh instrumen BET.....	26
<b>Gambar 4.1</b> Tampilan visual QDs hasil sintesis (a) Cu <sub>2</sub> O QDs, (b) Cu <sub>2</sub> O QDs setelah disinari sinar UV, (c) Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> QDs, (d) Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> QDs setelah disinari UV.....	29
<b>Gambar 4.2</b> Hasil pengujian XRD sampel Cu <sub>2</sub> O dan Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> .....	30
<b>Gambar 4.3</b> Hasil pengujian XRD sampel NF-QDs.....	30
<b>Gambar 4.4</b> Grafik hasil FTIR tiap variasi NF-QDs.....	31
<b>Gambar 4.5</b> Hasil EDX-Mapping sampel NF-Cu <sub>2</sub> O 1,1 ppm.....	32
<b>Gambar 4.6</b> Hasil EDX-Mapping sampel NF-Cu <sub>2</sub> O 15 ppm.....	32
<b>Gambar 4.7</b> Hasil EDX-Mapping sampel NF-Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> 1,1 ppm.....	33
<b>Gambar 4.8</b> Hasil EDX-Mapping NF-Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> 15 ppm.....	33
<b>Gambar 4.9</b> Persebaran ukuran nanopartikel Cu <sub>2</sub> O.....	34
<b>Gambar 4.10</b> Struktur nanopartikel Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> .....	34
<b>Gambar 4.11</b> Hasil citra SEM dan persebaran diameter fiber tiap variasi sampel <i>nanofiber</i> .....	35
<b>Gambar 4.12</b> Topografi permukaan NF-Cu <sub>2</sub> O 1,1 ppm.....	36
<b>Gambar 4.13</b> Topografi permukaan NF-Cu <sub>2</sub> O 15 ppm.....	36
<b>Gambar 4.14</b> Topografi permukaan NF-Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> 1,1 ppm.....	37
<b>Gambar 4.15</b> Topografi permukaan NF-Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> 15 ppm.....	37
<b>Gambar 4.16</b> Hasil pengujian <i>Contact Angle</i> tiap sampel <i>nanofiber</i> (a) Cu <sub>2</sub> O 1,1 ppm, (b) Cu <sub>2</sub> O 15 ppm, (c) Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> 1,1 ppm, (d) Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> 15 ppm.....	38

<b>Gambar 4.17</b>	Medium bakteri pada setiap variasi bakteri pada <i>nanofiber</i> kontrol .....	40
<b>Gambar 4.18</b>	Grafik persentase pertumbuhan bakteri pada <i>nanofiber</i> kontrol .....	40
<b>Gambar 4.19</b>	medium bakteri sebelum dan sesudah perlakuan (a) <i>E. coli</i> 1,1 ppm (b) <i>S. aureus</i> 1,1 ppm, (c) <i>E. coli</i> 15 ppm, dan (d) <i>S. aureus</i> 15 ppm .....	40
<b>Gambar 4.20</b>	Grafik performa antibakteri tiap sampel pada kondisi terang (a) <i>E. coli</i> 1,1 ppm (b) <i>S. aureus</i> 1,1 ppm, (c) <i>E. coli</i> 15 ppm, dan (d) <i>S. aureus</i> 15 ppm .....	41



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Perbandingan jenis-jenis metode <i>electrospinning</i> .....	6
<b>Tabel 2.2</b> Cu <sub>x</sub> O dan komposisinya sebagai material antibakteri .....	13
<b>Tabel 2.3</b> <i>Nanofiber</i> komposit sebagai material antibakteri .....	14
<b>Tabel 2.4</b> Penelitian sebelumnya .....	14
<b>Tabel 3.1</b> Rancangan sintesis Cu <sub>2</sub> O QDs.....	27
<b>Tabel 3.2</b> Rancangan sintesis komposit <i>nanofiber</i> .....	27
<b>Tabel 3.3</b> Rancangan pengujian sampel.....	27
<b>Tabel 3.4</b> Rancangan waktu penelitian .....	28
<b>Tabel 4.1</b> Diameter rata-rata tiap variasi <i>nanofiber</i> .....	35
<b>Tabel 4.2</b> Nilai kekasaran permukaan tiap sampel hasil pengujian AFM .....	38
<b>Tabel 4.3</b> Tabulasi ukuran pori tiap sampel <i>nanofiber</i> .....	39
<b>Tabel 4.4</b> Nilai zeta potensial tiap variasi sampel.....	39
<b>Tabel 4.5</b> Efisiensi antibakteri tiap variasi sampel .....	41
<b>Tabel 4.6</b> Tabulasi Karakterisasi Material .....	46

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Penggunaan antibiotik dalam menghadapi infeksi bakteri dari tahun ke tahun nyatanya menyebabkan fenomena *antimicrobial resistance* (AMR) yang mengurangi efektifitas antibiotik terhadap infeksi bakteri, berujung pada peningkatan angka kematian akibat resistansi antibiotik (Sriram, 2021). Pada 2019, angka kematian sebagai efek *drug resistance* mencapai 4.95 juta (estimasi). Sedangkan 1.27 juta diantaranya terlibat langsung dalam fenomena *antimicrobial resistance* (AMR) (Murray et al., 2022). Sebagai opsi alternatif menghadapi zaman pasca antibiotik (*post-antibiotic era*), penggunaan nanopartikel (NPs) telah meningkat sebagai alternatif dalam menghadapi *multidrug resistance* (MDR) (Wang et al., 2017). Nanopartikel dapat bereaksi dengan bakteri dengan mekanisme; degradasi DNA, oksidasi protein, pembentukan *Reactive Oxygen Species* (ROS), peroksidasi lipid, penipisan kadar ATP, kerusakan biomolekul melalui interaksi membran (Fanoro & Oluwafemi, 2020). Dengan stimulan berupa cahaya, material fotokatalitik dapat dengan efektif menginaktivasi patogen dengan reaksi oksidatif (Parra-Ortiz & Malmsten, 2022).

Nanopartikel berbasis tembaga (*Cu-based*) atau  $Cu_xO$  mendapat banyak perhatian, hal ini dikarenakan dengan harga yang lebih murah dibandingkan logam lain, keberadaan yang melimpah, dan memiliki sifat antibakteri terhadap bakteri Gram-negatif *E. coli* bakteri Gram-positif (Teymourinia et al., 2019).  $Cu_xO$  nanopartikel yang disematkan pada sebuah fiber juga dapat membunuh bakteri gram positif *E. coli* dan juga bakteri gram negatif *S. aureus* dengan efektifitas mencapai 99,9% (Marković et al., 2018).  $Cu_xO$  NPS sendiri merupakan semikonduktor yang memiliki *band gap* yang rendah yaitu berkisar 2,0-2,2 eV (Muthukrishnaraj et al., 2021). sehingga baik sebagai fotokatalis karena dapat bekerja dibawah cahaya tampak. Selain itu, *Cu-based* NPs juga merupakan material yang memiliki toksisitas yang rendah, sehingga dapat diaplikasikan pada berbagai instrumen medis dalam aktivitas antibakteri (Khattar et al., 2018).

Studi mengenai sintesis dan aktivitas antibakteri *Cu-based* NPs sudah cukup banyak dilakukan. Penelitian oleh D. Chen (2019) melakukan sintesis *Cu-based* NPs menggunakan metode *wet chemical* dengan *precursor*  $Cu(acac)_2$  dan *oleylamine* dengan *1-octadecane* sebagai *solvent*. Studi mengenai performa antimikroba juga telah dilakukan (D. Chen et al., 2019). L. Xiong et.al. (2017) membuktikan bahwa  $Cu_2O$  NPs ( $50 \mu g mL^{-1}$ ) dapat menginaktivasi *E. Coli* dengan waktu kurang lebih 80 menit (Xiong et al., 2017). Hasmi, et.al., (2019) melakukan analisis kemampuan antimikroba pada  $CuO$  NPs yang disematkan pada membran *nanofiber polyacrylonitrile* (PAN) sebagai aplikasi masker antibakteri. Dari analisis tersebut didapat bahwa penambahan hingga 1%  $CuO$  kedalam *nanofiber* efektif mengurangi dan menghambat pertumbuhan bakteri gram positif dan negatif. Penambahan  $CuO$  meningkatkan luas permukaan dan *breathability* sehingga material dapat dijadikan masker antibakteri (Hashmi et al., 2019). Selain itu, dalam penelitian Antonio, et.al. (2019) PCL yang dijadikan nanokomposit bersama dengan  $CuO$  dapat menurunkan pertumbuhan berbagai bakteri.

Meskipun telah banyak studi yang membuktikan aktivitas antibakteri  $Cu_xO$  baik dalam bentuk partikel ataupun komposit, studi komprehensif mengenai sifat permukaannya masih sangat minim dilakukan. Padahal, permukaan komposit *nanofiber/NPs* merupakan tempat terjadinya interaksi komposit terhadap dinding sel bakteri baik itu penempelan bakteri dan mekanisme inaktivasi bakteri (Mortimer & Burke, 2016). Untuk menutupi *knowledge gap* yang ada, penelitian ini dilakukan. Penelitian ini akan berfokus pada karakterisasi permukaan komposit *nanofiber/NPs*, serta menganalisis hubungan yang terdapat antara morfologi permukaan *nanofiber/NPs* terhadap performa antibakterinya. Bagaimana morfologi serta karakteristik permukaan yang dimiliki *nanofiber* mempengaruhi interaksi yang terjadi juga

akan dipelajari. Pada penelitian ini, CuO NPs akan disintesis menggunakan metode *wet chemical* yang disematkan pada *nanofiber* PAN/PCL dengan teknik *electrospinning*.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka didapatkan rumusan masalah pada penelitian ini, antara lain:

1. Bagaimana morfologi komposit *nanofiber quantum dots* Cu<sub>2</sub>O dan Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>?
2. Bagaimana performa antibakteri komposit *nanofiber quantum dots* Cu<sub>2</sub>O dan Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>?
3. Bagaimana hubungan morfologi komposit *nanofiber quantum dots* Cu<sub>2</sub>O dan Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> terhadap performa antibakteri nya?

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Kelembapan ruangan, intensitas cahaya, dan temperatur ruangan dianggap konstan
2. Pengotor pada prekursor diabaikan dan reaksi dianggap sempurna pada setiap proses sintesis

## 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, penelitian ini memiliki tujuan, antara lain:

1. Mampu menganalisis morfologi komposit *nanofiber quantum dots* Cu<sub>2</sub>O dan Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>
2. Mampu menganalisis performa antibakteri komposit *nanofiber quantum dots* Cu<sub>2</sub>O dan Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>
3. Mampu menganalisis hubungan morfologi komposit *nanofiber quantum dots* Cu<sub>2</sub>O dan Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> terhadap performa antibakteri nya

## 1.5 Manfaat Penelitian

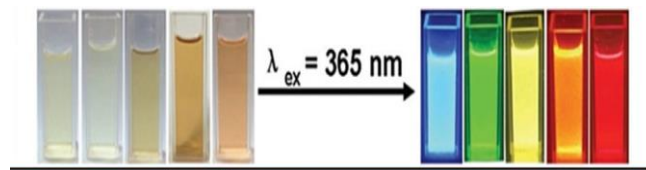
Penelitian ini memiliki manfaat sebagai informasi tambahan dan referensi dalam pengembangan maupun aplikasi komposit *nanofiber* pada aplikasi material antibakteri khususnya komposit *nanofiber* NF-Cu<sub>2</sub>O dan NF-Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> QDs. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan aplikasi material antibakteri dapat berkembang lebih pesat di Indonesia.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Nanopartikel dan *Quantum dots*

Nanopartikel adalah partikel solid yang berukuran sangat kecil, yaitu skala submikron (diameter  $\leq 100$  nm). Berdasarkan dimensi, terdapat setidaknya 3 kategori umum yaitu satu, dua, dan tiga dimensi. Nanopartikel satu dimensi biasanya berbentuk film tipis (*thin film*) yang saat ini sedang dikembangkan terutama pada aplikasi sel surya. Sedangkan, nanopartikel dua dimensi contohnya adalah *Carbon Nanotubes* (CNT) yang berukuran mirip dengan thin film, dengan kemampuan superkonduktornya yang sangat baik. Nanopartikel dimensi tiga contohnya seperti *Quantum dots*, yang berupa partikel kecil yang memiliki elektron bebas, bersifat *colloidal* dan semikonduktor dengan diameter 2-10 nm dengan morfologi dan karakteristik yang dapat dimodifikasi serta dikontrol. *Quantum dots* banyak diaplikasikan mulai dari semikonduktor, *drug delivery*, dan material antibakteri (Lal et al., n.d.).

*Quantum dots* memiliki sifat luminescence pada fasa padat, yang berasal dari struktur kristal mulai dari unsur-unsur golongan II-VI (CdTe, ZnS, dan CdSe), III-V (InAs dan InP), serta beragam gabungan unsur-unsur yang berbeda golongan lainnya. Karena adanya fenomena *quantum confinement effect*, dimana ketika diberikan energi berupa cahaya, gap atau lubang (holes) serta elektron yang dihasilkan ( $e^-$ ) akan saling berhadapan akibat adanya gaya elektrostatis dan pasangan *electron-hole*. Akibatnya, terjadi eksitasi. Akibat fenomena *quantum confinement* ini, terjadi perbedaan energi antara elektron dan *holes* pada struktur nanokristal. Fenomena tersebut jugalah yang memberikan karakteristik *fluorescence* pada *quantum dots* dimana *quantum dots* menghasilkan warna yang berbeda-beda bergantung pada ukuran partikelnya. Partikel besar akan menghasilkan *energy band gap* yang lebih kecil sehingga menghasilkan warna merah sedangkan partikel yang lebih kecil akan menghasilkan *energy band gap* yang lebih besar dan menghasilkan cahaya biru (Bakirhan & Ozkan, 2018).



**Gambar 2.1** Warna emisi dari *carbon quantum dots* (CQDs), yang disinari oleh sinar tampak (kiri) dan sinar UV (kanan) (Bakirhan & Ozkan, 2018)

### 2.2 $Cu_xO$ *Quantum dots*

*Copper oxide* ( $Cu_xO$ ) merupakan *semiconductor* yang memiliki 2 bentuk;  $CuO$  (*cupric oxide*) dan  $Cu_2O$  (*cuprous oxide*).  $CuO$  sendiri sangat umum digunakan pada aplikasi sel surya, sensor gas, elektroda, superkonduktor. Dengan band gap yang kecil hingga 1.21 eV. Sifat optik  $CuO$  sangat bergantung pada komposisi dan struktur dari nanopartikel, dengan ukuran nanopartikel mulai dari 6 nm hingga 15 nm bergantung pada metode dan parameter sintesis dan emisi *photoluminescence* berada pada range 365 nm (Horti et al., 2020). Sedangkan,  $Cu_2O$  disisi lain merupakan bentuk kedua dari *copper oxide* memiliki *band gap* berkisar di 2.14 eV dengan ukuran partikel 6,4 nm dan *photoluminescence spectra* memiliki nilai 390-470 nm (Butte & Waghuley, 2020).

Kemampuan *Cu-based* NPs dalam inaktivasi bakteri dapat dikatakan sangat baik. Hal ini dapat dilihat dari penelitian yang dilakukan Xiong, et. al. (2017)  $Cu_2O$  NPs memiliki performa antibakteri yang sangat baik pada kondisi gelap maupun terang dengan konsentrasi  $5 \mu g mL^{-1}$  dengan mekanisme “contact killing” dan ROS ( $OH$ ,  $H_2O_2$ , dan  $h^+$ ) (Xiong et al., 2017). begitupun dengan  $CuO$  yang memiliki kemampuan *bacteriostatic* hingga 85% dalam 3 jam.

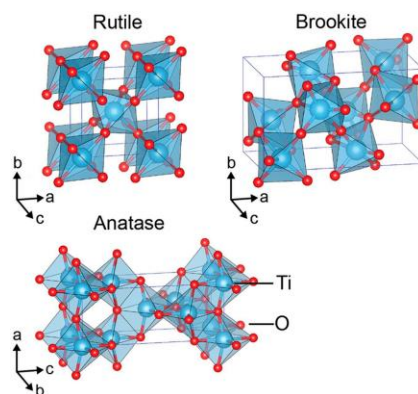
Adanya penambahan konsentrasi nanopartikel semikonduktor pada matrix polimer dapat mempengaruhi aspek morfologi, antara memperbesar atau mengurangi diameter *nanofiber* yang dihasilkan dari *electrospinning*. Adanya penambahan nanopartikel konduktif seperti CuO atau Cu<sub>2</sub>O akan meningkatkan konduktivitas larutan komposit yang membuat larutan semakin mampu menghantarkan muatan pada saat voltase *electrospinning* diberikan. Hal ini dapat meningkatkan efek *stretching* dan *elongation* pada *jet* larutan yang akan mengurangi diameter fiber yang dihasilkan (Herrera et al., 2021).

### 2.2.1 TiO<sub>2</sub>

Nanopartikel TiO<sub>2</sub> merupakan nanopartikel semikonduktor yang memiliki ukuran kristal 10-41 nm dengan *band gap* berkisar antara 2.42 -3.7 eV bergantung pada faktor sintesis dan *treatment* (Tsega & Dejene, 2019) (Joshi et al., 2020). TiO<sub>2</sub> dapat memiliki 3 fasa; *anatase* dan *rutile* stabil pada struktur kristal tetragonal, sedangkan fasa *brookite* memiliki struktur kristal orthorombik. Namun, pada skala nano, TiO<sub>2</sub> dalam fase anatase lebih diinginkan karena sifat fotokatalitiknya serta stabilitas yang lebih baik pada skala tersebut (Tsega & Dejene, 2019). TiO<sub>2</sub> dapat menyerap gelombang cahaya yang memiliki panjang gelombang kurang dari 388 nm (Nabika & Unoura, 2016). Hal itulah yang membuat TiO<sub>2</sub> sangat baik digunakan baik sebagai fotokatalis ataupun material penyerap UV, dan antimikrobal. Karena TiO<sub>2</sub> sangat mudah teroksidasi apabila terpapar sinar UV, TiO<sub>2</sub> akan semakin baik diaplikasikan dibawah sinar matahari karena dapat lebih baik memproduksi *reactive oxygen species* (ROS).

Kemampuan antibakteri pada TiO<sub>2</sub> sangat bergantung pada struktur kristal, sumber cahaya, intensitas UVA, serta kemampuannya dalam membentuk berbagai radikal bebas dan ROS seperti O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>2</sub><sup>-</sup>, dan HO<sub>2</sub>. Produk radikal bebas inilah yang mampu menghancurkan membran sel bakteri, khususnya fosfolipid, polisakarida dan protein-protein. Kerusakan bagian-bagian tersebutlah yang akan merusak dan membunuh bakteri (Azizi-Lalabadi et al., 2019).

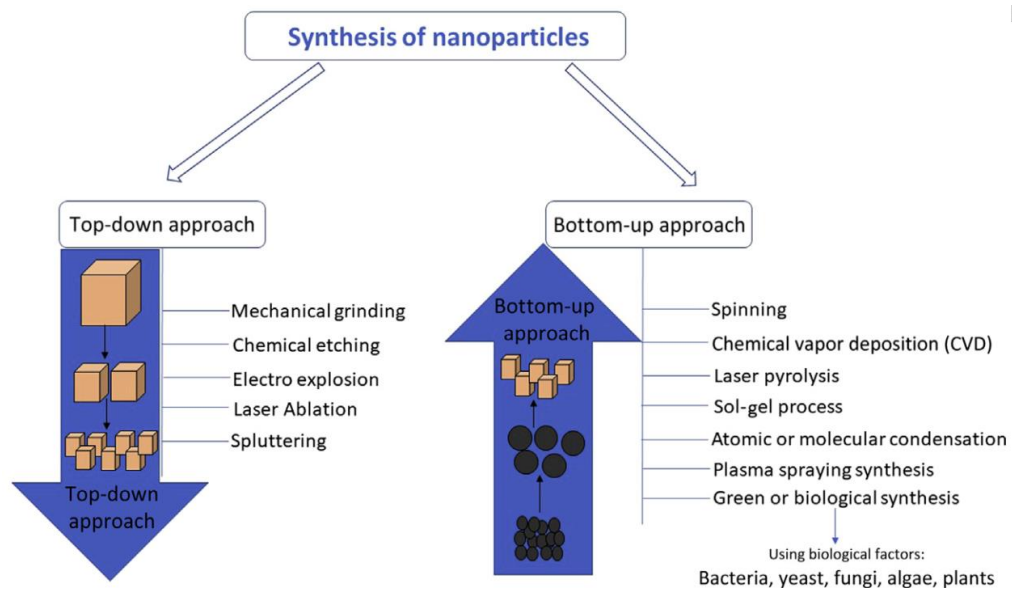
Dari sisi morfologi, TiO<sub>2</sub> juga dapat mempengaruhi morfologi hasil *electrospinning nanofiber*. Pada penelitian yang dilakukan Nurmin Bolong (2016), penambahan TiO<sub>2</sub> akan berpengaruh banyak pada morfologi apabila dilakukan kalsinasi pada temperatur 700° dan penambahan konsentrasi hanya akan berakibat pada penambahan viskositas larutan *nanofiber*, yang tentu dapat mengubah morfologi hasil *electrospinning* namun tidak sebesar pengaruh konsentrasi polimer-nya sendiri (Tang et al., n.d.). Dan pada penelitian Wu, Junyao (2019) terlalu banyak konsentrasi TiO<sub>2</sub> akan mempengaruhi kemudahan pelarutan nanopartikel TiO<sub>2</sub> pada matrix polimer. Hal tersebut akan berakhir pada terbentuknya agregat-agregat halus partikel TiO<sub>2</sub> pada fiber yang dapat mengurangi kemampuan fotokatalitiknya. Maka dari itu komposisi maksimum TiO<sub>2</sub> yang direkomendasikan adalah 4wt.% (Wu et al., 2020).



Gambar 2.2 Struktur kristal TiO<sub>2</sub>

### 2.2.2 Metode Sintesis *Wet Chemical*

Metode sintesis *wet chemical* termasuk kedalam kategori sintesis *bottom-up approach*, yang artinya secara konsep dimulai partikel yang lebih kecil menjadi partikel yang lebih besar. Pada kategori *bottom-up*, prekursor yang berukuran kecil direaksikan dengan campuran lain dalam menghasilkan partikel-partikel yang lebih kompleks, pendekatan ini biasanya diterapkan pada proses sintesis nanopartikel semikonduktor, *quantum dots*, dan *fabricated nanoparticle* (Sasidharan et al., 2019).



**Gambar 2.3** Metode sintesis nanopartikel *Top Down* dan *Bottom Up* (Sasidharan et al., 2019)

*Wet-chemical* bekerja melalui reaksi kimia yang terjadi pada larutan prekursor dimana kondisi lingkungan eksperimen sudah disesuaikan. setiap metode *wet-chemical* satu akan berbeda dengan metode *wet-chemical* lain, maka dari itu tidak ada aturan umum dalam metode sintesis ini. Metode ini digunakan dalam sintesis nanomaterial 2D yang tidak dapat disintesis menggunakan pendekatan *top-down*. Metode *wet-chemical* dapat dikontrol secara keseluruhan (*high degree controlability*) serta kemampuan reproduksi nanomaterial yang baik, memungkinkan fabrikasi nanomaterial secara lebih cepat dan masif (Pottathara et al., 2019).

### 2.3 Nanofiber

*Nanofiber*, dengan diameter berkisar dari 1 hingga 1000 nm, adalah serat dihasilkan dari polimer baik polimer alami maupun sintesis. Adapun, polimer yang digunakan dalam produksi *nanofiber* harus memenuhi kriteria: memiliki berat molekul tinggi, memiliki sedikit rantai samping, dan dapat dengan mudah larut dalam larutan dan kondisi tertentu (Lou et al., 2020). Sesuai dengan namanya, *nanofiber* merupakan filamen polimer panjang, dengan sifat-sifat unik yang dimiliki seperti porositas tinggi, luas permukaan tinggi, efisiensi enkapsulasi yang baik, morfologi yang dapat dikontrol, dan stabilitas kimia dan termal yang baik (Bharathi et al., 2020). Berkat sifat-sifat tersebut *nanofiber* pun sudah diaplikasikan pada berbagai bidang mulai dari filtrasi udara, *drug delivery*, baterai, hingga pada bidang fotokatalitik untuk sifat antimikrobia (Lou et al., 2020).

Biasanya, dalam metode produksi *nanofiber* polimer, teknik *electrospinning*-lah yang digunakan karena dapat menghasilkan luas permukaan yang lebih besar (Bharathi et al., 2020).

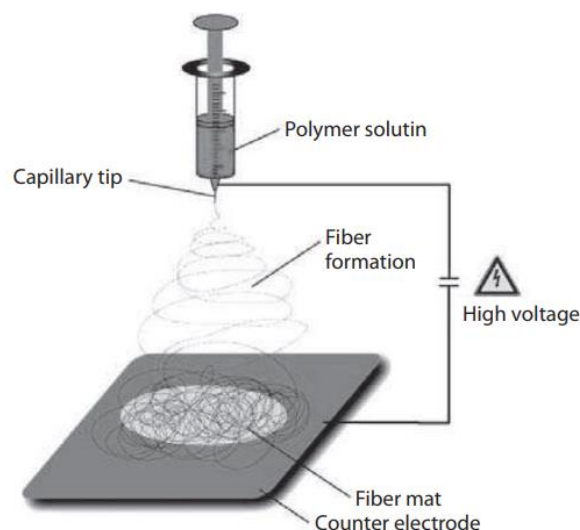
Adapun, terdapat juga beberapa metode lain yang dapat dilakukan dengan pertimbangan kelebihan dan kekurangannya yang akan ditunjukkan oleh Tabel 2.1 berikut

**Tabel 2.1** Perbandingan jenis-jenis metode *electrospinning*

<i>Melt Spinning</i>	<i>Solution Spinning</i>	<i>Emulsion Spinning</i>	Electrospinning
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dapat membentuk geometri kompleks</li> <li>• Proses aman dan ramah lingkungan</li> <li>• Sulit membentuk fiber dengan diameter kurang dari 1 <math>\mu\text{m}</math></li> <li>• Diameter fiber tidak seragam</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cocok pada polimer dengan stabilitas termal yang buruk</li> <li>• Dapat digunakan pada berbagai jenis material</li> <li>• Sifat optik, mekanik dan elektrik yang sangat baik</li> <li>• Konsumsi energi rendah</li> <li>• Rawan <i>defect</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cocok untuk serat tahan api</li> <li>• Dapat digunakan pada material insoluble dan nonmelting</li> <li>• Rawan kontaminasi, dan transparansi yang buruk</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kapabilitas untuk meng-enkapsulasi material lain</li> <li>• Cocok di berbagai aplikasi</li> <li>• Instrumen yang fleksibel</li> <li>• Memiliki potensi produksi komersial</li> </ul>

### 2.3.1 Metode *Electrospinning*

Electrospinning merupakan teknik fabrikasi fiber dengan prinsip elektrostatis, yang dapat memproduksi fiber dengan ukuran mikro hingga nanometer. Metode ini dikembangkan oleh Lord Rayleigh pada akhir abad ke-19. Metode ini memiliki keunggulan dimana dapat menghasilkan *nanofiber* dalam skala yang besar. Ditambah lagi, *nanofiber* yang dihasilkan memiliki beragam keunggulan seperti rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi, porositas yang dapat dikontrol, hingga morfologi dan ukuran *nanofiber* yang dapat dikontrol.



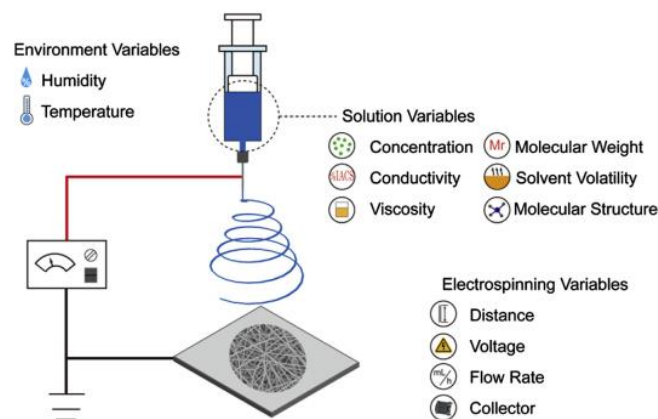
**Gambar 2.4** Skema rangkaian alat *electrospinning* (Kurečić & Smole, 2013)



## LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

Pada dasarnya, *electrospinning* hanya terdiri dari 3 komponen utama yaitu, (1) *power supply* bertegangan tinggi, (2) *spinneret* contohnya seperti jarum suntik, dan (3) *collector* yang dapat berupa piringan ataupun lembaran logam, maupun berupa *mandrel*. *Electrospinning* memanfaatkan *power supply* bertegangan tinggi untuk memberikan muatan listrik ke dalam larutan atau lelehan polimer, yang kemudian diteruskan menuju kolektor yang memiliki polaritas yang berlawanan sehingga menciptakan medan listrik. Sebuah larutan polimer disuntikkan dengan jarum ke arah medan listrik yang dihasilkan tadi. Agar dapat menghasilkan medan listrik, diperlukan beberapa puluh KV arus DC. Medan listrik yang dihasilkan akan menyebabkan *surface tension* pada larutan, sehingga akhirnya pancaran (*jet*) larutan akan dihasilkan secara konstan, kemudian pelarut yang ada akan menguap lalu *nanofiber* akan terkumpul pada permukaan *collector* (Barhoum et al., n.d.). Terdapat banyak sekali parameter yang mempengaruhi *nanofiber* hasil *electrospinning*. Pertama, voltase atau tegangan. Tegangan akan mempengaruhi besar muatan yang diberikan kepada larutan.

Apabila tegangan terlalu kecil, maka pancaran (*jet*) dan *Taylor cone* yang terbentuk akan semakin kecil bahkan dapat tersangkut pada ujung jarum. Hal ini dapat membuat hasil *nanofiber* memiliki diameter yang lebih besar. Namun, voltase yang terlalu tinggi juga harus diperhatikan, karena semakin cepat aliran *jet* akibat tegangan tinggi akan mengurangi *flight time* menuju *collector* yang dapat menyebabkan diameter *nanofiber* lebih besar. Maka dari itu, voltase yang digunakan sebaiknya berada pada titik *critical point*-nya. Parameter selanjutnya adalah jarak ujung jarum ke *collector*. Biasanya jarak normal *electrospinning* berada di 10-15 cm yang memungkinkan *solvent* atau pelarut menguap sehingga fiber yang dihasilkan lebih kering. Meningkatkan jarak *tip-to-collector* akan mengurangi diameter fiber karena adanya *stretching* pada fiber. Namun, jarak yang terlalu jauh juga dapat memperbesar diameter *nanofiber* karena medan listrik yang semakin melemah. Dan yang ketiga adalah *flow rate* atau laju aliran. Meski tidak berdampak banyak namun *flow rate* yang tidak seimbang akan memungkinkan terbentuknya *beads* pada *nanofiber*, membuat konsistensi *nanofiber* berkurang, selain itu *flow rate* yang terlalu cepat akan menyebabkan larutan menetes dari ujung jarum (Long et al., 2018).

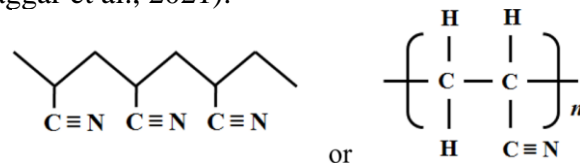


**Gambar 2.5** Berbagai parameter yang berpengaruh pada proses *electrospinning* (Long et al., 2018)

### 2.4 *Polyacrylonitrile*

*Polyacrylonitrile* adalah polimer serbaguna yang memiliki sifat kimia, mekanik, dan thermal yang sangat baik. Polimer ini juga dikenal memiliki kemampuan menghasilkan struktur *nanofiber* yang stabil dengan ketangguhan dan fleksibilitas yang baik dan diaplikasikan pada berbagai aplikasi seperti membran, komposit, bahkan hingga perangkat biomedis.

*Polyacrylonitrile* atau PAN terdiri dari monomer *acrylonitrile* ( $C_3H_3N$ ) yang stabil dan berbentuk serbuk putih hingga temperatur  $250^\circ C$ , melebihi temperatur tersebut PAN akan menghitam akibat adanya *backbone degradation*. PAN memiliki temperatur transisi kaca yang tinggi, namun *thermal plasticity* yang rendah (Kausar, 2019). PAN dapat larut pada beberapa pelarut polar, seperti DMF, DMF<sub>SO</sub>, DMAc, *dimethylsulfone*, *tetramethylsulfide* dan larutan *ethylene carbonate*, serta beberapa garam mineral. Pada temperatur  $50^\circ C$ , PAN dapat terlarut pada DMF hingga dengan kelarutan 25%, angka ini termasuk tinggi dan membuat DMF menjadi pelarut utama PAN. PAN memiliki titik leleh hingga  $317^\circ C$ . PAN memiliki sifat mekanik yang sangat baik akibat adanya gaya antarmolekul rantai polimernya. Gaya elektrostatis yang cukup kuat terbentuk pada gugus  $-C=N$  dan interaksi intramolekular ini membuat rantai polimer ini lebih kaku karena minimnya rotasi ikatan antar gugusnya. *Nanofiber* yang berasal dari PAN memiliki kekuatan tarik sekitar 45-50 Mpa dengan modulus elastisitas 0,5-0,8 Mpa (Mahmoud Salehi et al., 2021). PAN bersifat hidrofilik, dengan *nanofiber* PAN memiliki contact angle sekitar  $34^\circ$  pada *nanofiber* yang memiliki 100 nm menurut hasil uji (El-Naggar et al., 2021).

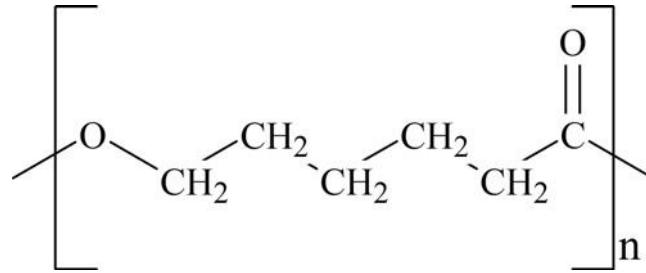


Gambar 2.6 Struktur molekul *polyacrylonitrile*(McKeen, 2012)

## 2.5 Polycaprolactone

*Polycaprolactone* atau disingkat PCL, terdiri dari unit *hexanoate* berulang yang termasuk kelompok *aliphatic polyester*. PCL memiliki sifat dimana polimer ini *biodegradable*, hidrofobik, dan *nonotoxic*. PCL dapat terdegradasi melalui hidrolisis yang terjadi pada gugus ester nya dalam kondisi fisiologis, contohnya seperti tubuh manusia yang membuat polimer ini cukup baik dijadikan sebagai bahan implan (McKeen, 2012). *Termoplastic* PCL memiliki titik leleh sekitar  $60^\circ C$  dan temperatur degradasi pada  $350^\circ C$ , polimer ini juga memiliki derajat kristalinitas hingga 70% dengan struktur berbentuk *orthorhombic*. Kristalinitas polimer ini akan berkurang seiring bertambahnya berat molekul dengan rentang 3000 hingga 800,000 g/mol. Namun, aplikasi PCL masih dikatakan terbatas dikarenakan harga material ini yang cukup tinggi, stabilitas termal yang kurang baik, sifat mekanik yang inferior, dan sifat anti gas nya (Mallakpour & Nouruzi, 2017).

Morfologi yang terbentuk pada PCL yang dihasilkan menggunakan metode *electrospinning* akan beragam, dengan diameter dapat berukuran 600nm -1000nm tergantung dari voltase yang digunakan. Selain itu voltase juga dapat memengaruhi sifat mekanik dari *nanofiber* PCL. Semakin besar voltase sifat mekanik cenderung meningkat, dengan rentang  $\pm 1,2 - \pm 5$  Mpa untuk kekuatan tarik dan 10-20 Mpa untuk modulus elastisitas dengan rentang tegangan 10-25 kV (Can-Herrera et al., 2021). PCL dapat terlarut hampir di semua pelarut organik seperti *dichloromethane*, benzena, toluena, *carbon tetrachloride*, *chloroform*, *2-nitropropane* dan *cyclohexanone*. Namun, tidak dapat larut dalam air, *petroleum ether*, dan alkohol. Selain itu PCL juga memiliki hidrofobisitas yang tinggi, dengan *contact angle* melebihi  $150^\circ$  yakni  $160,7^\circ$  (El-Naggar et al., 2021).



Gambar 2.7 Struktur molekul polycaprolactone (McKeen, 2012)

## 2.6 Komposit *Nanofiber-Quantum Dots* Pada Aplikasi Antibakteri

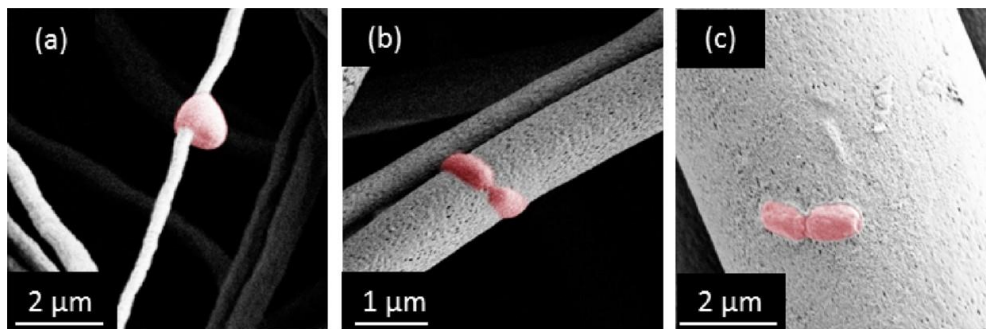
Komposit *nanofiber* adalah material yang terdiri dari 2 atau lebih fasa yang berbeda yang digabungkan untuk menghasilkan sifat fisik, kimiawi, ataupun biologis yang diinginkan. Komposit biasanya terdiri dari matriks yang berupa fasa primer, yang lebih lunak dan ulet dari fasa yang lain. Sedangkan, fasa berikutnya merupakan penguat (*reinforcement*) yang tersebar dan terlarut didalam matrix, fasa ini biasanya lebih kuat dan keras dibandingkan matriks (Ramalingam & Ramakrishna, 2017). *Nanofiber* memiliki berbagai manfaat karena porositas dan luas permukaan yang tinggi sehingga dapat diaplikasikan ke berbagai aplikasi bahkan pada aplikasi antibakterial. Disatu sisi, *nanofiber* juga dapat diperkaya dengan disematkannya nanopartikel yang memiliki sifat antibakteri (Ag, Cu, dan lain-lain). Adanya nanopartikel yang disematkan juga dapat meningkatkan sifat hidrofilik material yang meningkatkan kemampuan membran maupun antimikroba (Pan et al., 2019). Sementara itu, kemampuan antimikroba dan juga karakteristik lain dari komposit nanopartikel/*nanofiber* juga sangat bergantung pada morfologi serta karakteristik permukaannya.

### 2.6.1 Morfologi

#### 1. *Fiber Diameter*

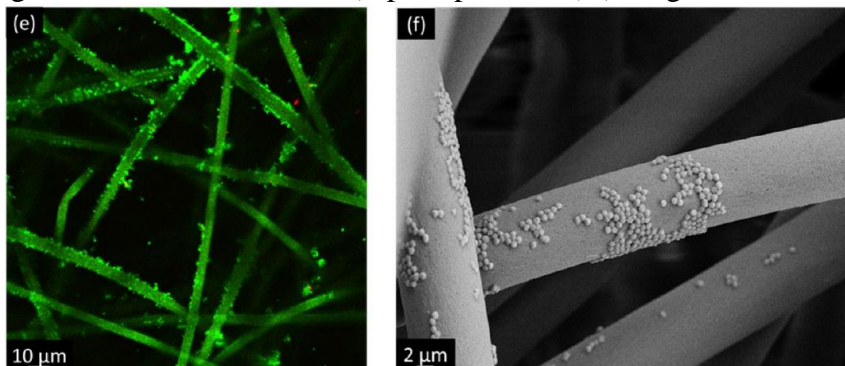
Diameter fiber pada komposit antibakteri memiliki pengaruh terhadap kemampuan antibakteri, khususnya pada bagaimana bakteri akan menempel pada permukaan fiber dan membentuk koloni (proliferasi). Nyatanya, diameter fiber tidak menjadi satu-satunya parameter dari bagaimana bakteri akan membentuk koloni, selain diameter fiber, bentuk dan ukuran bakteri juga sangat memengaruhi, sehingga dalam mendesain ukuran *nanofiber* yang spesifik, lingkup bakteri yang menjadi target pun juga akan lebih sempit.

Secara umum, *nanofiber* yang memiliki ukuran diameter sama atau mirip dengan ukuran bakteri akan menjadi kandidat terbaik bakteri dalam membentuk koloni dan berkembang biak, karena mampu menjadi fondasi bakteri untuk berkembang biak. Pada bakteri yang memiliki struktur *rod* atau seperti batangan (*E. coli* atau *P. aeruginosa*) diameter fiber yang lebih kecil dari ukuran bakteri akan membuat bakteri cenderung menyelimuti fiber, yang kemudian akan menghambat bakteri untuk menyeberang ke bagian lain dan membentuk koloni (Abrigo et al., 2015).



**Gambar 2.8** Hasil SEM yang memperlihatkan bagaimana bakteri *E. coli* menempel pada kondisi ukuran fiber yang berbeda (Abrigo et al., 2015)

Sedangkan, pada bakteri yang memiliki bentuk melingkar seperti *S. aureus*, ukuran fiber yang lebih besar dari sel bakteri akan membuat bakteri lebih memilih membentuk koloni di permukaan fiber tanpa menyebar dan meluas ke seluruh struktur, sehingga ukuran fiber yang lebih besar menguntungkan dalam menghambat bakteri berbentuk melingkar seperti *S. aureus*. Dari hal-hal diatas, sebuah peluang untuk mendesain *nanofiber* dengan morfologi yang heterogen, apabila untuk aplikasi dengan kondisi lingkungan yang kompleks dimana terdapat berbagai macam bentuk bakteri (seperti pada luka) (Abrigo et al., 2015).



**Gambar 2.9** Kecenderungan proliferasi bakteri *S. aureus* pada diameter fiber yang lebih besar (Abrigo et al., 2015)

## 2. *Surface roughness* dan *Surface area*

Kekasaran permukaan, juga dapat memengaruhi adhesivitas *nanofiber* terhadap bakteri. Pada material yang memiliki permukaan yang kasar, bakteri akan lebih cenderung menempel pada permukaan karena adanya luas permukaan yang menambah luas kontak dengan bakteri. Apabila untuk aplikasi material yang mencegah penempelan bakteri, *surface roughness* yang halus lebih disukai (Hasan et al., 2019).

Namun, *surface roughness* bukanlah satu-satunya parameter penting pada permukaan. Luas permukaan yang tinggi juga merupakan faktor utama dari adhesivitas bakteri terhadap *nanofiber*. Studi oleh L. Claudia (2016) menjelaskan bahwa selain *surface roughness* yang tinggi, luas permukaan juga sangat berpengaruh terhadap adhesi bakteri pada permukaan *nanofiber* (Lüdecke et al., 2016). Peningkatan kekasaran permukaan dapat meningkatkan adhesi bakteri dan menyebabkan disintegrasi mekanis dari struktur bakteri, yang membuat bakteri semakin rentan untuk dibunuh (Hamdan et al., 2021). Maka dari itu, dalam aplikasi antibakteri, material *nanofiber* harus memiliki permukaan yang cukup kasar dan juga memiliki area kontak yang baik saat berinteraksi dengan bakteri.

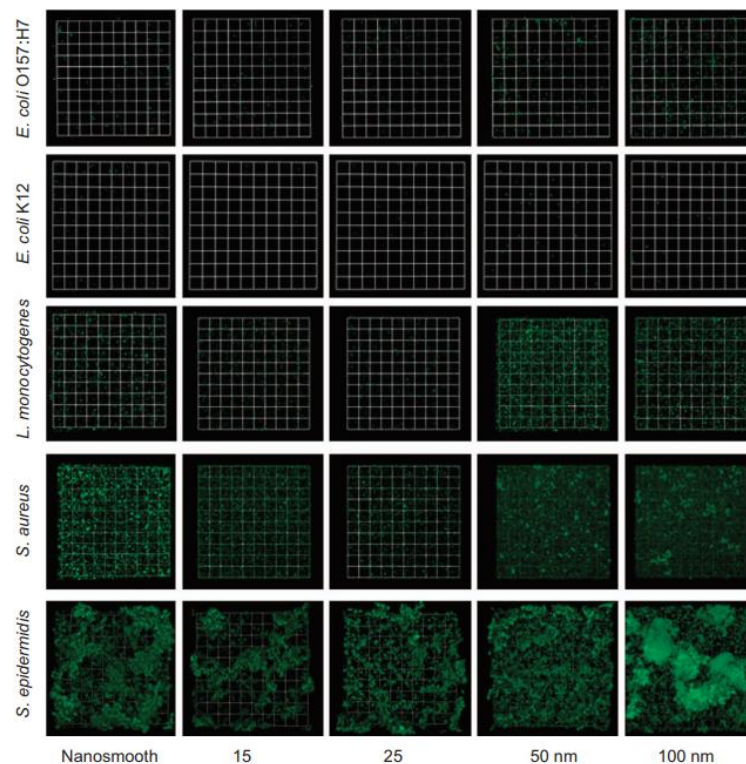
## 3. *Porosity*

*Porosity* atau porositas didefinisikan sebagai ruang kosong (*void*) yang terdapat diantara *nanofiber* satu dan yang lain. Distribusi ukuran porositas sangat berpengaruh dalam hal

LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

filtrasi (Roodbar Shojaei et al., 2019). Pada sisi antibakteri, porositas dapat mempengaruhi kemampuan antibakteri dengan cara mempengaruhi surface wettability (Hamdan et al., 2021).

Porositas memiliki hubungan yang erat terhadap hidrofobisitas suatu material. Material yang memiliki porositas cukup besar (*micron-scale*) cenderung bersifat lebih hidrofobik daripada yang memiliki porositas dalam skala nano. Hal ini akan membuat bakteri akan lebih cenderung menempel pada permukaan yang memiliki porositas cukup besar. Penelitian yang dilakukan oleh Guoping. F (2015) menjelaskan bahwa bakteri uji seperti *E. coli* O157:H7, *E. coli* K12, *L. monocytogenes*, *S. aureus* dan *S. epidermidis* cenderung menempel pada permukaan yang memiliki porositas lebih besar. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa pada pori sebesar 10-25 nm memiliki kemampuan menghambat penempelan bakteri, dibandingkan pori dengan ukuran 100 nm. Selain itu, porositas yang lebih besar juga meningkatkan sifat hidrofobisitas permukaan, yang berakhir pada meningkatnya kemampuan adhesi bakteri (Feng et al., 2015). Dalam hal meningkatkan adhesi bakteri terhadap permukaan *nanofiber* untuk menyebabkan mekanisme inaktivasi bakteri terjadi, porositas *nanofiber* harus dijaga agar tidak terlalu kecil namun juga tidak terlalu besar (50-100 nm) (Hamdan et al., 2021).



**Gambar 2.10** Perbandingan tampilan koloni bakteri terhadap ukuran porositas yang berbeda (Feng et al., 2015)

### 2.6.2 Hidrofobisitas

Hidrofobisitas juga merupakan salah satu faktor adhesi bakteri pada permukaan *nanofiber* yang penting. Hidrofobisitas dapat membuat bakteri memiliki kecenderungan untuk menempel pada permukaan. Contohnya seperti penelitian yang dilakukan oleh Sarker. A (2019) menyebutkan bahwa, sifat hidrofobik yang dimiliki oleh bakteri *S. aureus* menyebabkan bakteri tersebut lebih cenderung menempel dan membentuk koloni pada permukaan yang juga hidrofobik (Sarker et al., 2019). Disisi yang berlawanan, permukaan yang hidrofilik akan



mencegah bakteri untuk menempel pada permukaan. Hal ini diakibatkan karena apabila kekasaran permukaan berganti dari skala *sub-micron* menjadi *nanoscale* akan mengubah sifat permukaan menjadi hidrofilik. Hal ini membuat adhesi terhadap bakteri (khususnya *S. aureus*) menjadi lemah akibat tidak adanya titik tumpu (*anchoring point*) yang bisa digunakan bakteri untuk menempel (Lu et al., 2020). Untuk menjaga hidrofobisitas *nanofiber*, pemilihan material polimer *nanofiber* yang memiliki sifat hidrofobik sangat direkomendasikan contohnya seperti *polycaprolactone* (PCL).

### 2.6.3 Surface Charge

Muatan permukaan atau *surface charge* akan memengaruhi aktivitas antimikroba pada aspek adhesivitas dinding sel bakteri kepada permukaan fiber dan NPs. Sebagian besar sel bakteri memiliki muatan permukaan negatif. Hal ini disebabkan oleh berbagai komponen dinding bakteri seperti *teichoic acid*, *lipoteichoic acids*, *peptidoglycan*, *pyruvylated polysaccharides*, *teichuronic acids*, *succinylated lipoglycans*, dan *lipopolysachharides*. Karena muatan permukaan sel bakteri yang cenderung negatif, bakteri akan cenderung tertarik menempel ke permukaan yang bermuatan positif akibat adanya gaya elektrostatis (Hanna et al., 2018). Untuk meningkatkan efektivitas antibakteri pada nanopartikel, permukaan komposit *nanofiber* yang positif diperlukan untuk memastikan dinding sel bakteri menempel dengan baik pada permukaan *nanofiber* agar mekanisme inaktivasi dapat terjadi.

Namun, muatan positif pada permukaan *nanofiber* juga dapat memiliki efek kurang baik. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Terada, A. (2012), bahwa muatan positif pada permukaan suatu lembaran lebih menarik dan menempel banyak *E. coli* serta membantu *E. coli* dalam membentuk *biofilm*. *Biofilm* ini akan semakin terakumulasi dan memiliki homogenitas yang sangat baik membuat *biofilm* lebih sulit untuk terpisah dari permukaan benda maupun terlepas dari sel yang rusak karena infeksi. Disisi lain, permukaan yang memiliki muatan negatif akan memberikan gaya tolak menolak pada bakteri, sehingga meningkatkan sifat antibakteri dari segi mencegah terbentuknya *biofilm* dan sebagai material pencegah bakteri (Terada et al., 2012). Selain itu, muatan permukaan yang terlalu positif (kationik) juga dapat menyebabkan kerusakan sel (sitotoksik) baik pada bakteri ataupun manusia yang disebabkan karena dapat menyebabkan aglutinasi atau penggumpalan darah. Maka dari itu, dirasa penting untuk mengatur muatan permukaan apabila *nanofiber* akan digunakan pada aplikasi tertentu (Hamdan et al., 2021).

## 2.7 Penelitian Pendahuluan

Penelitian yang berhubungan terhadap karakteristik dan morfologi permukaan nanopartikel maupun *nanofiber* ditunjukkan oleh Tabel 2.2 dan penelitian-penelitian yang berhubungan terhadap hubungan karakteristik permukaan terhadap interaksi bakteri ditunjukkan pada Tabel 2.3

**Tabel 2.2** Cu<sub>x</sub>O dan kompositnya sebagai material antibakteri

Material	Properti	Efektivitas & Mekanisme Antibakteri	Ref
PVA/CuO 5-9%	Diameter fiber 215-270nm	<b>Efektivitas Antibakteri</b> <i>S. aureus</i> dari <i>inhibition zone diameter</i> (IZD) adalah 27-49% dan <i>reduction rate</i> 32-59% dengan mekanisme ROS dan <i>Ion Release</i> <b>Efektivitas antibakteri MIC:</b> 66,5 µg/mL pada pH 5 untuk <i>P. aeruginosa</i> dan <i>B. subtilis</i>	(N. F. Chen et al., 2021)
Cu <sub>2</sub> O NPs	uV-Vis: 300-350 nm. Siameter NPs 22.64 (dengan <i>surfactant</i> ) – 67.5 nm	<b>Inhibiton Zone:</b> 26,5 mm untuk <i>P. aeruginosa</i> dan 28,6 untuk <i>B. subtilis</i> <b>The agar-well diffusion test:</b> Konsentrasi terbaik pada 62,5 µg/mL (10%) <b>Mekanisme:</b> ROS, <i>Ion Release</i> , dan <i>cell uptake</i>	(Bezza et al., 2020)
PCL/Gelatin/CuO NPs	Diameter fiber: 135,3±11,8 nm Hidrofobisitas: 70.9±9.1° (PCL/Gel) dan 50±4.3°	<b>Mekanisme antibakteri:</b> ROS <b>Efektivitas antibakteri:</b> IZD <i>S. aureus</i> 51±1.2, MDR <i>S. aureus</i> 40±1.7, <i>P. aeruginosa</i> 31±0.5, dan <i>E. coli</i> 30.5±0.3 mm	(Karuppannan et al., 2021)
CuO NPs	Diameter rata-rata partikel: 38 nm menggunakan metode <i>microwave irradiation</i>	<b>Mekanisme:</b> Pembentukan ROS, serta pelepasan ion Cu yang dapat menyebabkan distorsi DNA <b>Efektivitas:</b> Dengan metode IZD <i>P. aeruginosa</i> 18 mm, <i>S. typhi</i> 16 mm, <i>K. pneumonia</i> 20 mm, <i>S. aureus</i> 17 mm, MRSA 17 mm	

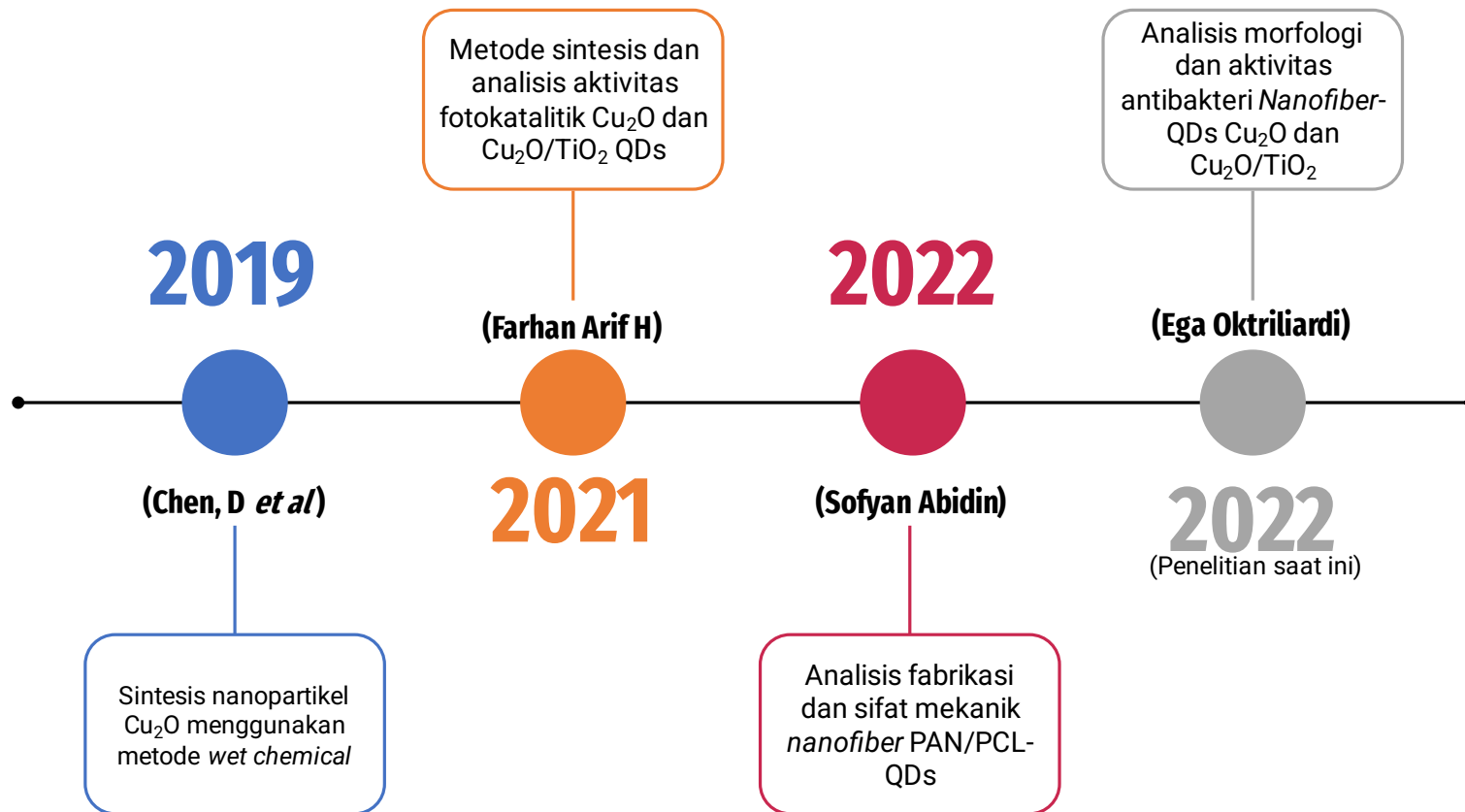
**Tabel 2.3 Nanofiber** komposit sebagai material antibakteri

Material	Parameter Sintesis	Properti <i>nanofiber</i>	Efektivitas & mekanisme antibakteri	Ref
PAN/CuO	Voltase 13 kV, jarak tip 14 cm, flow rate 0,5ml/h, dan konsentrasi CuO 1%	Diameter fiber: 197 nm pada 1% CuO <i>Surface area</i> : 20,63±0,087 m <sup>2</sup> /g pada 1% CuO <i>Pore size</i> : 17,54 Å pada 1% CuO Hidrofobisitas: 78° pada 0,25% CuO dan 0° pada 1% CuO	Uji antibakteri: <i>inhibition zone diameter</i> (IZD), kemampuan inhibisi bakteri terbaik ada pada 1% CuO Mekanisme: Cu release sekitar 34 ppm setelah 72 jam (1% CuO)	(Hashmi et al., 2019)
PVA/ZnS	Voltase 15 kV dan jarak tip ke <i>collector</i> 15 cm	Diameter fiber: 200-300 nm Diameter partikel ZnS: 5-10 nm	Efektivitas: Zona inhibisi untuk <i>S. aureus</i> 8 mm dan untuk <i>E. coli</i> 9 mm	(Panthi et al., 2020)

**Tabel 2.4 Penelitian sebelumnya**

No	Sampel	Parameter	Hasil	Referensi
1	Cu <sub>2</sub> O Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub>	1. Menggunakan metode wet chemical 2. Cu(acac) <sub>2</sub> 0.2 mmol, oleylamine 2,85 mL dan 1-Octadecane 5 mL 3. Temperatur 210 °C untuk Cu <sub>2</sub> O dan 170 °C untuk Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> 4. Konsentrasi TiO <sub>2</sub> 140 µL	1. QDs berhasil disintesis 2. Performa antibakteri Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> lebih meningkat dari varian Cu <sub>2</sub> O	(Farhan, 2021)
2	NF-15 NF-20	1. Voltase 15-20 kV 2. Jarak <i>tip to collector</i> 15 cm	1. Nanofiber berhasil terbentuk 2. Tegangan lebih besar menghasilkan diameter yang lebih besar pula	(Sofyan, 2021)





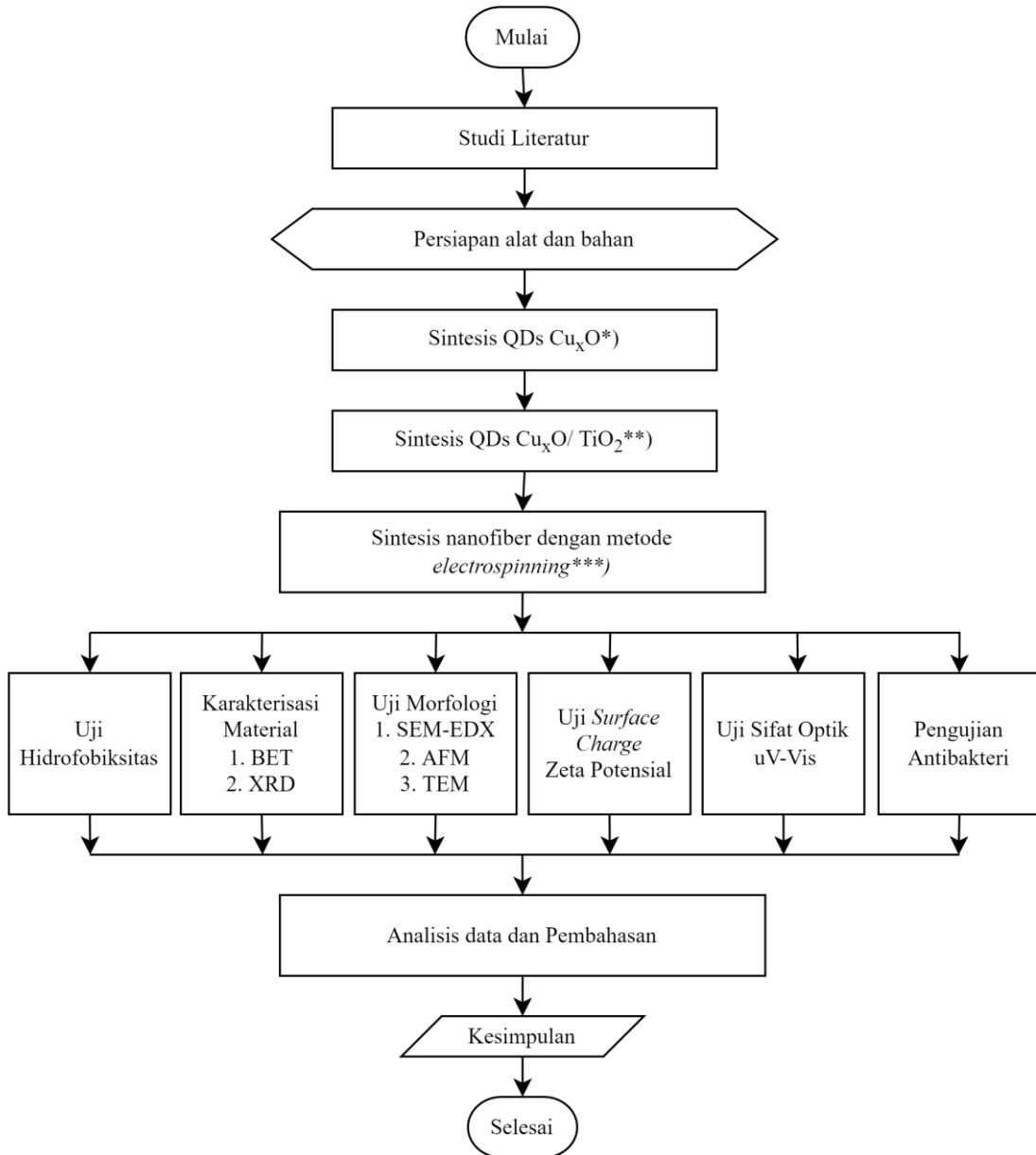
Gambar 2. 11 Roadmap Penelitian Cu<sub>2</sub>O QDs dan Nanofiber

*(Halaman ini sengaja dibiarkan kosong)*

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

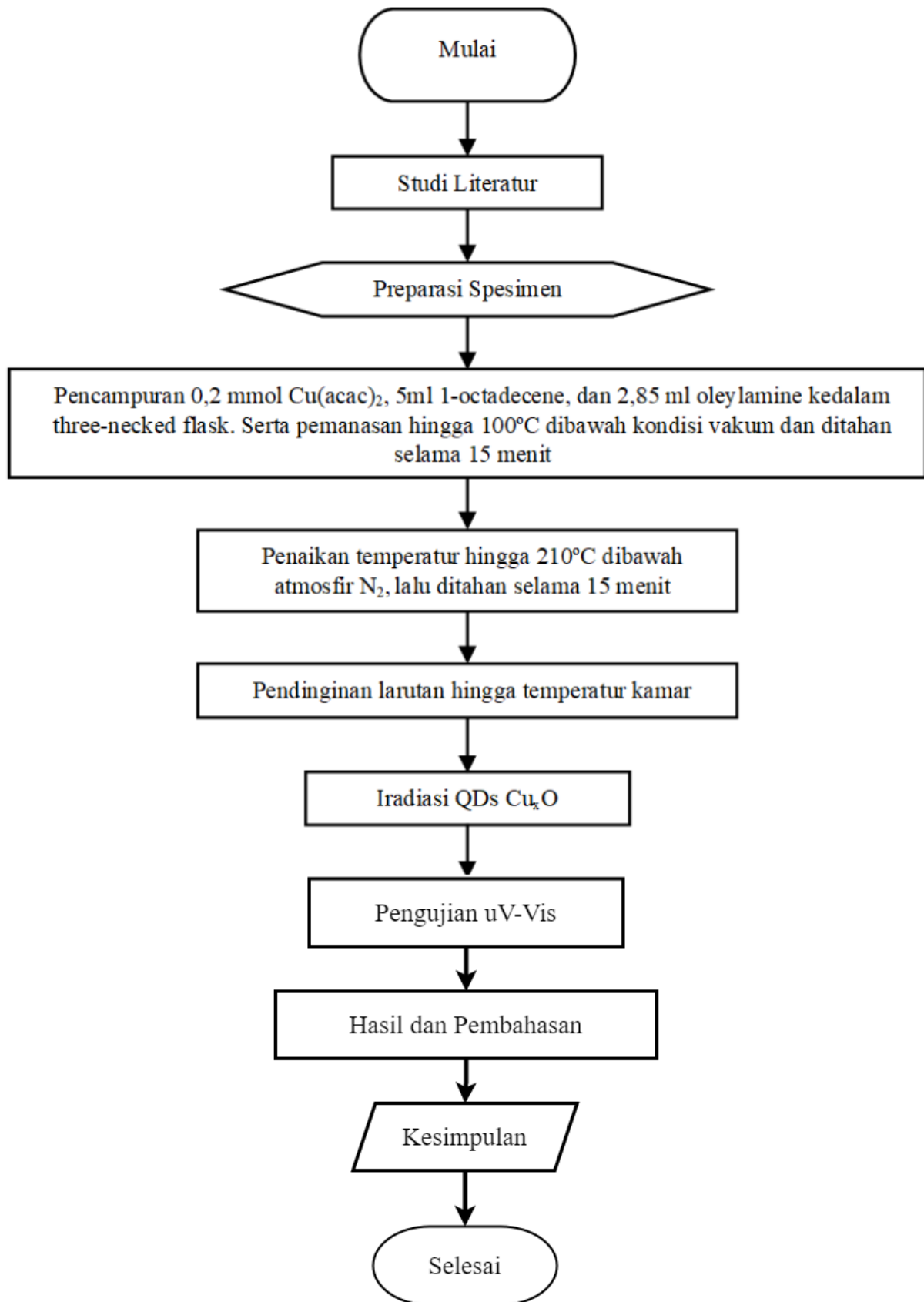
#### 3.1 Diagram Alir

Berikut adalah diagram alir dari rangkaian penelitian ini:



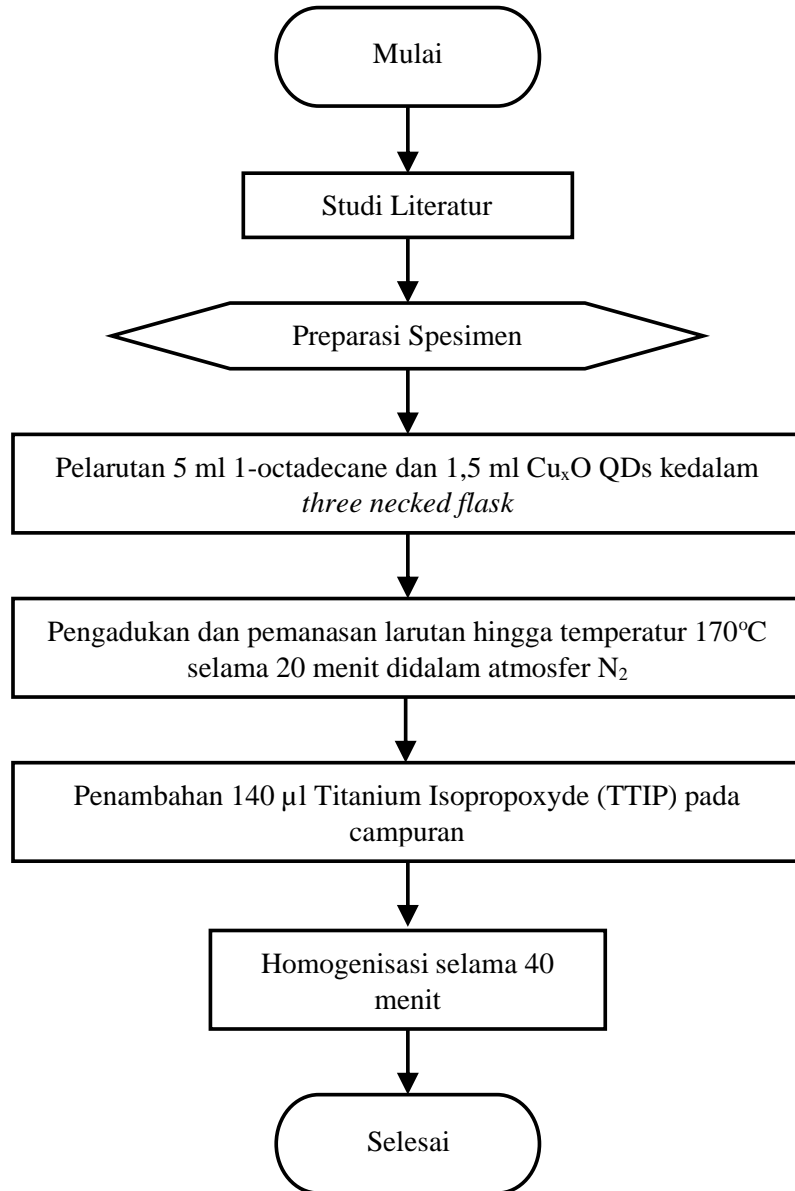
**Gambar 3.1** Diagram alir keseluruhan penelitian

\*) Sintesis QDs Cu<sub>2</sub>O



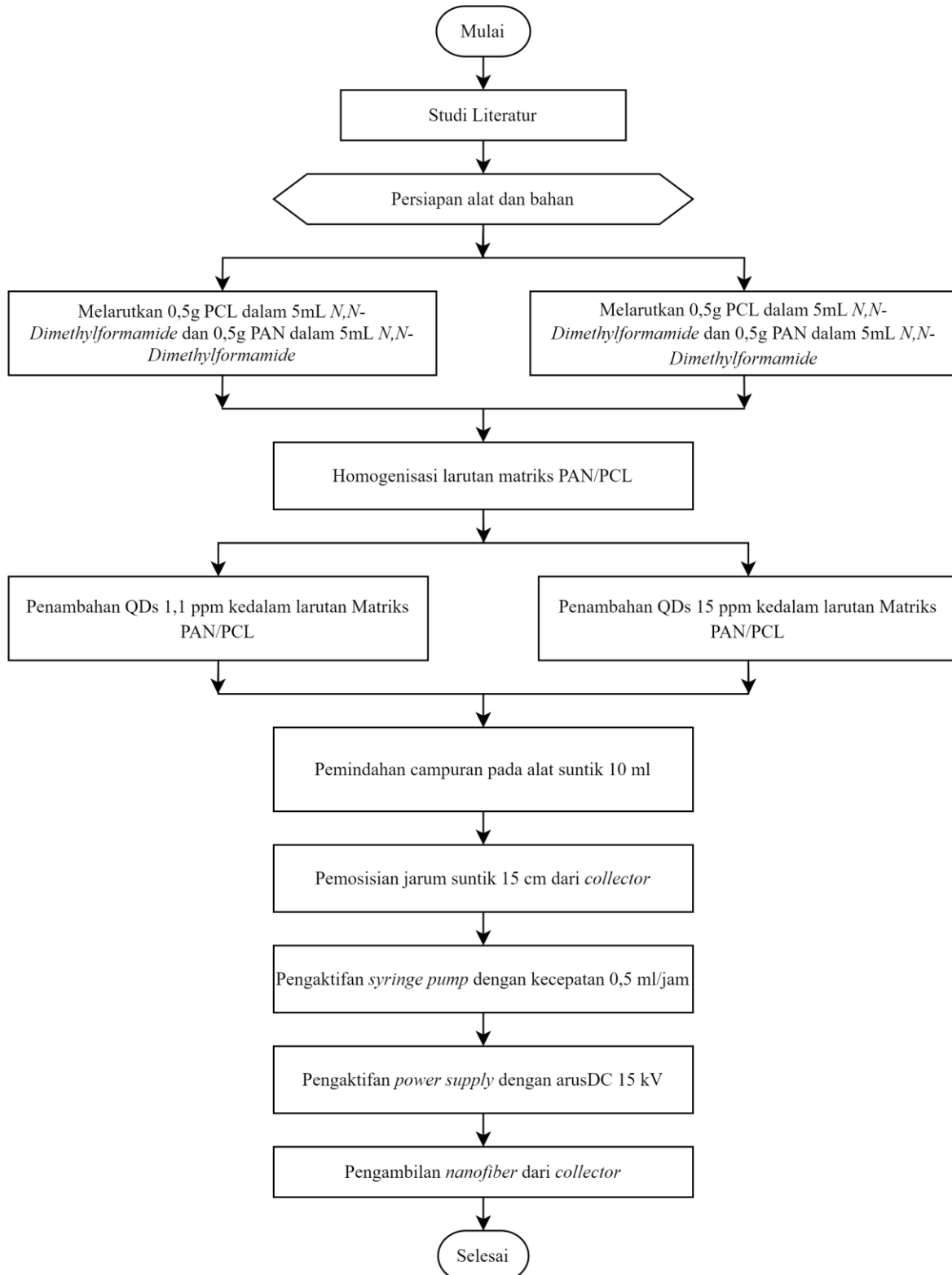
Gambar 3.2 Diagram alir sintesis Cu<sub>2</sub>O QDs

\*\*) Sintesis Cu<sub>2</sub>O/TiO



**Gambar 3.3** Diagram alir sintesis Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> QDs

\*\*\*) Sintesis *nanofiber* NF-QDs



**Gambar 3.4** Diagram alir sintesis *Nanofiber*-QDs

### 3.2 Alat dan Bahan

Berikut alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini.

#### 3.2.1 Alat Penelitian

Adapun alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Schlenk Line*  
*Schlenk line* merupakan serangkaian alat yang digunakan untuk sintesis nanopartikel  $\text{Cu}_2\text{O}$  menggunakan metode *wet chemical*.
2. *Gelas Beaker*  
*Gelas beaker* digunakan sebagai tempat aktifitas bahan-bahan kimia
3. *Pipette*  
*Pipette* digunakan untuk mengambil bahan-bahan kimia yang berupa cairan
4. *Micropipette*  
Untuk cairan kimia yang membutuhkan tingkat presisi yang lebih baik, mikropipet digunakan. Adapun fungsi utama mikropipet mirip dengan pipet biasa
5. *Hot Plate Magnetic Stirrer*  
*Hot Plate Magnetic stirrer* digunakan untuk memanaskan, dan mengaduk larutan
6. *Stir Bar*  
*Stir bar* berfungsi sebagai pengaduk pada magnetic stirrer
7. *Lampu UV*  
*Lampu UV* digunakan sebagai sumber iradiasi buatan pada produk nanopartikel  $\text{Cu}_2\text{O}$
8. *Botol Kaca*  
*Botol kaca* digunakan sebagai tempat penyimpanan produk hasil sintesis
9. *Power Supply*  
*Power supply* digunakan dalam memberikan sumber arus DC pada rangkaian alat *electrospinning*
10. *Syringe Pump*  
*Syringe pum* berfungsi sebagai pemompa jarum suntik berisi larutan nanokomposite pada rangkaian alat *electrospinning* dengan
11. *Syringe*  
Alat suntik dengan jarum berukuran 21G x 1,5-inch digunakan sebagai tempat larutan *nanofiber* yang akan di sintesis menggunakan alat *electrospinning*

#### 3.2.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1.  $\text{Cu}(\text{acac})_2$   
Digunakan sebagai precursor  $\text{Cu}_2\text{O}$  untuk metode *wet chemical*.
2. *Oleylamine*  
Digunakan sebagai ligan dalam proses sintesis *wet chemical*.
3. *1-Octadecane*  
Digunakan sebagai pelarut (solvent), agen penutup permukaan (surface-capping agent) dan penutup ligan (capping ligand) serta reducing agent dalam proses sintesis.
4. *Polyacrylonitrile (PAN)*  
Digunakan sebagai bahan dasar matriks polimer dalam sintesis *nanofiber*
5. *Polycaprolactone (PCL)*  
Digunakan sebagai bahan dasar matriks polimer dalam sintesis *nanofiber*
6. *Hexane*  
Pelarut yang digunakan untuk mencuci produk hasil sintesis melalui proses presipitasi menggunakan *centrifuge* untuk menghilangkan produk sampingan (*byproducts*),

prekursor dan pelarut yang tidak bereaksi serta digunakan untuk mendispersikan produk hasil sintesis.

7. *N, N- Dimethylformamide*

Pelarut yang digunakan untuk melarutkan PAN dan PCL

### 3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yakni sebagai berikut.

#### 3.3.1 Sintesis Nanopartikel Cu<sub>2</sub>O

- 0,2 mmol Cu(acac)<sub>2</sub>, 5ml 1-octadecene, dan 2,85 ml oleylamine dicampurkan kedalam three-necked flask. Campuran dipanaskan hingga 100°C dibawah kondisi vakum selama 15 menit
- Temperatur dinaikkan hingga 210°C dibawah atmosfir N<sub>2</sub>, lalu ditahan selama 15 menit
- Larutan didinginkan hingga temperatur kamar
- Cu<sub>2</sub>O QDs di-iradiasi dengan lampu Uv untuk memastikan QDs berhasil terbentuk.

#### 3.3.2 Sintesis Nanopartikel Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>

- 1 mL nanopartikel Cu<sub>2</sub>O dicampurkan dengan 5 mL 1-oktadekana kedalam *three neck flask*
- Temperatur dinaikkan hingga mencapai 170°C didalam atmosfer N<sub>2</sub>
- Penambahan 140 µL TTIP kedalam campuran QDs disertai *holding* dan homogenisasi pada temperatur konstan 170°C selama kurang lebih 45 menit
- Pendinginan larutan hingga ke temperatur kamar

#### 3.3.3 Sintesis Nanofiber dengan Metode *Electrospinning*

- Melarutkan 0,5 gr PCL dalam 5mL *N, N Dimethylformamide* dan 0,5g PAN dalam 5 mL *N,N-Dimethylformamide*.
- Homogenisasi tiap larutan polimer disertai dengan pengadukan selama kurang lebih 30 menit
- Mencampurkan larutan matriks PCL/PAN dilanjutkan kembali dengan homogenisasi.
- Menambahkan Cu<sub>2</sub>O QDs kedalam larutan dengan variasi konsentrasi disertai pengadukan kembali
- Memasukkan larutan PCL/PAN/QDs Cu<sub>2</sub>O ke dalam *syringe* 10 mL.
- Meletakkan jarum suntik dengan jarak nozzle ke *collector* sejauh ± 15 cm.
- Mengaktifkan *syringe pump* dengan kecepatan 1 mL/jam.
- Mengaktifkan *power supply* dengan variasi arus DC sebesar 15 kV.
- Melakukan *electrospinning* selama 120 menit.
- Mengambil *nanofiber* pada *collector*.

### 3.4 Proses Pengujian

Pada penelitian ini, dilakukan beberapa pengujian dalam memperoleh data yang dibutuhkan untuk analisis sebagai berikut.

#### 3.4.1 Pengujian XRD

Pengujian XRD ini adalah pengujian yang dilakukan untuk menganalisis senyawa atau unsur yang terbentuk pada sampel. Pengujian ini memanfaatkan difraksi dari sinar-X. Mekanisme kerja alat pengujian XRD yaitu X-Ray (sinar X) ditembakkan dari X-Ray source ke sampel spesimen. Hasil dari tembakan akan dipantulkan menuju X-Ray detector untuk dikonversikan dalam bentuk kurva agar dapat dianalisis. Selain itu, dari hasil XRD dapat



LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

---

digunakan untuk menganalisis susunan kristal yang terbentuk serta ukuran butir kristalnya. Untuk menganalisis ukuran butir dapat dilihat dari lebar setiap peak hasil difraksi sinar X. Penentuan ukuran butir dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan Deybe Scherer pada persamaan 3.1

$$D = \frac{k \cdot \lambda}{B \times \cos\theta} \quad (3.1)$$

Dimana:

- D = Ukuran butir kristal (nm)
- k = Konstanta = 0.9
- $\lambda$  = Panjang gelombang sinar (Cu  $k\alpha = 1.54056 \text{ \AA}$ )
- B = *Full Width Half Maksimum* (FWHM) (rad)
- $\theta$  = Sudut difraksi ( $^{\circ}$ )



**Gambar 3.5** Contoh alat pengujian XRD

### 3.4.2 Pengujian Sifat Optik

Pengujian Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis adalah teknik analisis spektroskopik yang memakai sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat (190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm) dengan memakai alat spektrofotometer. Spektrofotometer UV-VIS digunakan untuk mendapatkan absorbance spectra dari suatu material, mengukur intensitas cahaya yang melewati larutan sampel dalam kuvet, dan membandingkannya dengan intensitas cahaya sebelum melewati sampel. Prinsip pengujian UV-Vis adalah mengamati elektron yang tereksitasi menuju level energi yang tinggi diamati sebagai absorbansi cahaya atau radiasi elektromagnetik. Pada pengujian UV-Vis menggunakan panjang gelombang UV visible light dengan rentang 200-800 nm yang memiliki energi sebesar 1.5-6.2 eV.

Pengujian UV-Vis didasarkan pada hukum *Beer-Lambert* berikut:

$$A = \epsilon \cdot b \cdot c \quad (3.1)$$

Dimana,

- A : Absorbansi (*arbitrary unit*)
- $\epsilon$  : absorpsivitas molar material ( $M^{-1} \text{ cm}^{-1}$ )
- b : Panjang *cuvette* atau tempat sampel ( $\sim 1 \text{ cm}$ )
- c : Konsentrasi (M)



**Gambar 3.6** Contoh alat pengujian uV-Vis

### 3.4.3 Pengujian SEM-EDX

SEM merupakan mikroskop elektron dengan berkas elektron yang ditembakkan ke permukaan sampel sehingga menghasilkan gambar morfologi permukaan sampel. Dari gambar SEM kemudian diolah menggunakan *software* ImageJ untuk mengetahui distribusi diameter, diameter rata-rata, dan porositas sampel. Distribusi diameter didapatkan dari pengukuran pada 50 tempat yang berbeda kemudian dirata-rata.

*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX) adalah alat untuk mengenali jenis atom di permukaan sampel. EDX merupakan alat pelengkap SEM namun tidak semua SEM memiliki EDX. Prinsip kerja EDX adalah dengan menembakkan sinar-X sampel. Hasil penembakan sinar-X tersebut akan muncul puncak-puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung.



**Gambar 3.7** Contoh instrumen pengujian SEM-EDX

### 3.4.4 Pengujian TEM

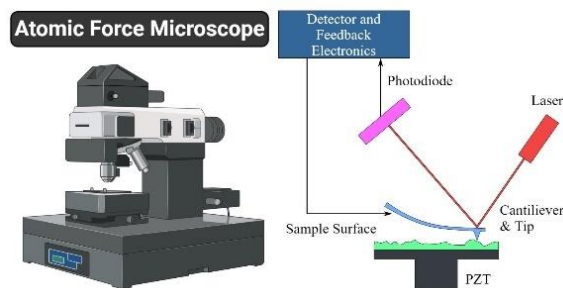
*Transmission Electron Microscopy* (TEM) menggunakan electron yang ditransmisikan yang dapat dideteksi oleh sampel tipis. Pengujian TEM digunakan untuk mengidentifikasi lebih lanjut mengenai morfologi dan struktur kristal spesimen karena memiliki perbesaran dan resolusi tinggi. Pada penelitian ini, analisis TEM digunakan dalam rangka menentukan ukuran partikel rata-rata dari QDs yang disintesis



Gambar 3.8 Instrumen pengujian TEM

### 3.4.5 Pengujian AFM

*Atomic Force Microscopy* (AFM) adalah salah satu metode dalam melakukan pemetaan topografi dari permukaan suatu material pada skala nano. AFM menggunakan *probing tip* yang terdapat pada ujung *cantilever*. Apabila *tip* dekat dengan permukaan sampel, gaya tarik menarik antara *tip* dan permukaan akan menarik *tip* mendekati sampel. Sedangkan, apabila ujung *tip* hendak menyentuh permukaan sampel, gaya repulsif akan mendorong ujung *tip* menjauhi sampel. Dari pergerakan *tip* mendekati dan menjauhi permukaan sampel inilah topografi permukaan dapat dipetakan. Hal ini sesuai dengan prinsip *Pauli exclusion*. AFM memiliki beberapa mode *mapping* yaitu mode kontak, mode non-kontak, dan mode *tapping*. Pada AFM untuk *nanofiber*, sampel *nanofiber* diletakkan pada sebuah permukaan yang rata seperti contohnya kaca untuk mencegah error dalam pemetaan. Adapun data dari AFM ini berupa data topografi permukaan yang berupa kekasaran permukaan.



Gambar 3.9 Instrumen pengujian AFM

### 3.4.6 Pengujian Zeta potensial

Pengujian zeta potensial dilakukan dalam menganalisis *surface charge* dari komposit *nanofiber*. Prinsip kerja zeta potensial adalah dengan memanfaatkan fenomena elektrokinetik pada material apabila material tersebut berada pada medan listrik. Contohnya seperti elektroforesis, elektroosmosis, *streaming potential*, dan *sedimentation potential*

Pada pengujian zeta, sampel yang berupa koloid akan diletakkan pada sel zeta, saat diberikan arus eksternal, partikel sampel tersebut akan bergerak ke elektroda yang memiliki muatan yang berlawanan terhadap partikel sampel. Dari sana velositas dan mobilitas elektroforesis sampel diukur oleh instrumen dan nilai zeta potensial didapatkan berdasarkan persamaan *Henry*:

$$U_E \frac{2\varepsilon\zeta}{3\eta} f(ka) \quad (3.6)$$

Dimana,

$U_E$  = mobilitas elektroforetik

- $\varepsilon$  = Konstanta dielektrik  
 $\zeta$  = Zeta potensial  
 $\eta$  = Viskositas  
 $f(ka)$  = Fungsi Henry



**Gambar 3.10** Instrumen pengujian Zeta potensial

### 3.4.7 Pengujian Hidrofobisitas

Pengukuran sudut kontak air merupakan salah satu metode untuk karakterisasi hidrofilitas permukaan. Metode ini dilakukan dengan menempatkan setetes air suling pada tempat yang berbeda dari permukaan nanofibrous, diikuti dengan mengukur sudut kontak antara tetesan air dan permukaan dan kemudian menghitung nilai rata-rata. Sudut kontak kecil ( $<90^\circ$ ) sesuai dengan hidrofilitas tinggi, sedangkan sudut kontak besar ( $>90^\circ$ ) sesuai dengan hidrofobisitas tinggi.

### 3.4.8 Pengujian Antibakteri

Pengujian bakteri dilakukan dalam menganalisis bagaimana performa komposit *nanofiber* dalam menghambat pertumbuhan bakteri. Dimulai dari kulturisasi bakteri pada *agar* yang kemudian di inkubasi dan agitasi selama 17 jam dengan temperatur yang dikontrol untuk membiarkan bakteri tumbuh. Setelah itu komposit *nanofiber* diletakkan pada petri dish tempat kulturisasi bakteri yang telah dikulturisasi dan didiamkan pada kondisi terkontrol selama 12-24 jam, dan diameter zona inhibisi dapat diukur menggunakan alat ukur.

### 3.4.9 Pengujian BET

BET memanfaatkan prinsip adsorpsi atom-atom gas yang mengalami adhesi terhadap suatu permukaan. Adsorpsi dari atomatom gas ini bergantung pada luas permukaan yang terekspose. Temperatur, tekanan udara, dan kekuatan interaksi antara gas dan solid dalam BET juga diperhitungkan. Gas yang digunakan dalam BET biasanya adalah nitrogen karena ketersediaannya dan kekuatan interaksinya dengan solid pada keadaan murni.



© 15 BFI-11\_GAPP Instruments CHINA www.gapp-one.com.cn\_400-888-2887

**Gambar 3.11** Contoh instrumen BET

LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

### 3.5 Rancangan Penelitian

Berikut adalah rancangan penelitian yang akan dilakukan dalam penelitian ini.

**Tabel 3.1** Rancangan sintesis Cu<sub>2</sub>O QDs

No	Sampel	Cu(acac) <sub>2</sub> (0,2 mmol)	TTIP ( $\mu$ L)	Temperatur (°C)
1	Cu <sub>2</sub> O	0,2	-	210
2	Cu <sub>2</sub> O/TiO	0,2	140	170

**Tabel 3.2** Rancangan sintesis komposit *nanofiber*

No	Sampel	PAN (%)	PCL (%)	Cu <sub>2</sub> O (ppm)	Cu <sub>2</sub> O/ TiO (ppm)	Tegangan (kV)
1	NF-Cu <sub>2</sub> O-1,1	10	10	1,1	-	15
2	NF-Cu <sub>2</sub> O-15	10	10	15	-	15
3	NF-Cu <sub>2</sub> O/TiO-1,1	10	10	-	1,1	15
4	NF-Cu <sub>2</sub> O/TiO-15	10	10	-	15	15

**Tabel 3.3** Rancangan pengujian sampel

No	Sampel	XRD	Uv Vis	SEM-EDX	BET	Zeta potensial	AFM	Hidrofobitas	TEM	Antibakteri
1	Cu <sub>2</sub> O	✓	✓	✓	-	✓	-	-	✓	-
2	Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub>	✓	✓	✓	-	✓	-	-	✓	-
3	NF-Cu <sub>2</sub> O-1,1	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
4	NF-Cu <sub>2</sub> O-15	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
5	NF-Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> -1,1	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
6	NF-Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> -15	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
7	PAN+PCL+Cu <sub>2</sub> O-1,1	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-
8	PAN+PCL+Cu <sub>2</sub> O-15	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-
9	PAN+PCL+Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> - 1,1	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-
10	PAN+PCL+Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> -15	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-

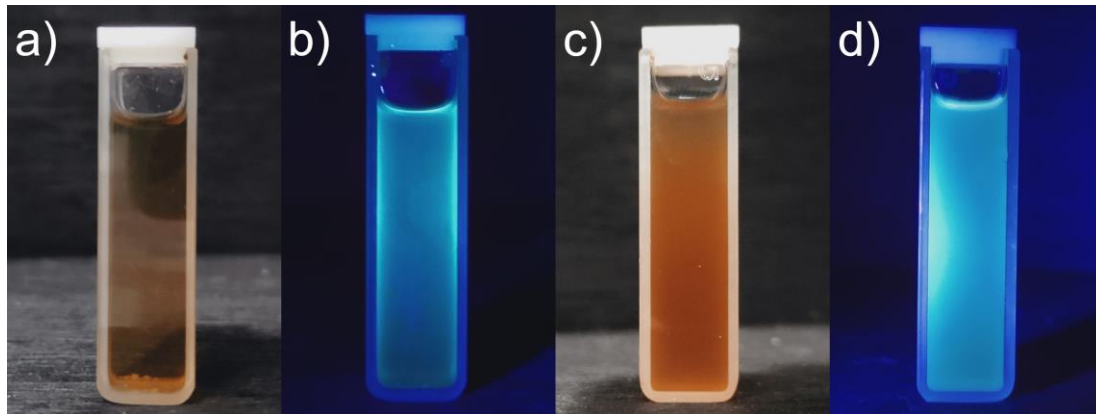
**Tabel 3.4** Rancangan waktu penelitian

No.	Kegiatan	Feb		Maret				April				Mei				Juni			
		3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur																		
2	Penyusunan proposal																		
3	Asistensi																		
4	Persiapan alat dan bahan																		
5	Sintesis Cu <sub>x</sub> O dan Cu <sub>x</sub> O/TiO <sub>2</sub> QDs																		
6	Sintesis <i>nanofiber</i> PAN/PCL/QDs																		
7	Pengujian XRD																		
8	Pengujian uV-Vis																		
10	Pengujian Hidrofobikitas																		
11	Pengujian BET																		
12	Pengujian Zeta Potensial																		
13	Pengujian AFM																		
14	Pengujian Antibakteri																		
15	Pengujian SEM-EDX																		
16	Pengujian TEM																		
17	Penyusunan Laporan Akhir																		

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengamatan Visual

Hasil sintesis QDs melalui metode *wet chemical* dapat diamati secara visual menggunakan senter uV dimana apabila *quantum dots*  $\text{Cu}_2\text{O}$  ataupun  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$  berhasil di sintesis, hasil penyinaran menggunakan senter uV akan menghasilkan tampilan suspensi  $\text{Cu}_2\text{O}$  yang *photoluminescence* berwarna biru kehijauan. Berdasarkan pengamatan visual yang sudah dilakukan, sampel  $\text{Cu}_2\text{O}$  dan  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$  yang disintesis dapat dikatakan berhasil terbentuk.



**Gambar 4.1** Tampilan visual QDs hasil sintesis (a)  $\text{Cu}_2\text{O}$  QDs, (b)  $\text{Cu}_2\text{O}$  QDs setelah disinari sinar UV, (c)  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$  QDs, (d)  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$  QDs setelah disinari UV

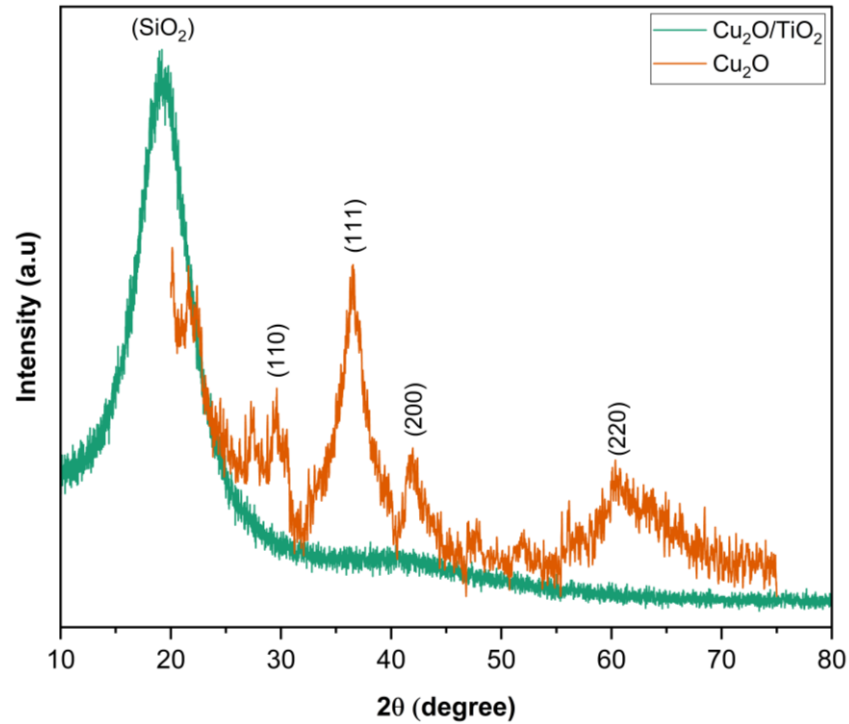
### 4.2 Pengujian XRD dan FTIR

Pengujian XRD dan FTIR merupakan karakterisasi umum untuk sampel QDs  $\text{Cu}_2\text{O}$  dan NF-QDs dimana kedua pengujian ini dilakukan dalam menganalisis unsur maupun senyawa yang terdapat pada sampel. Adapun hasil kedua pengujian tersebut dijelaskan pada sub-bab dibawah ini.

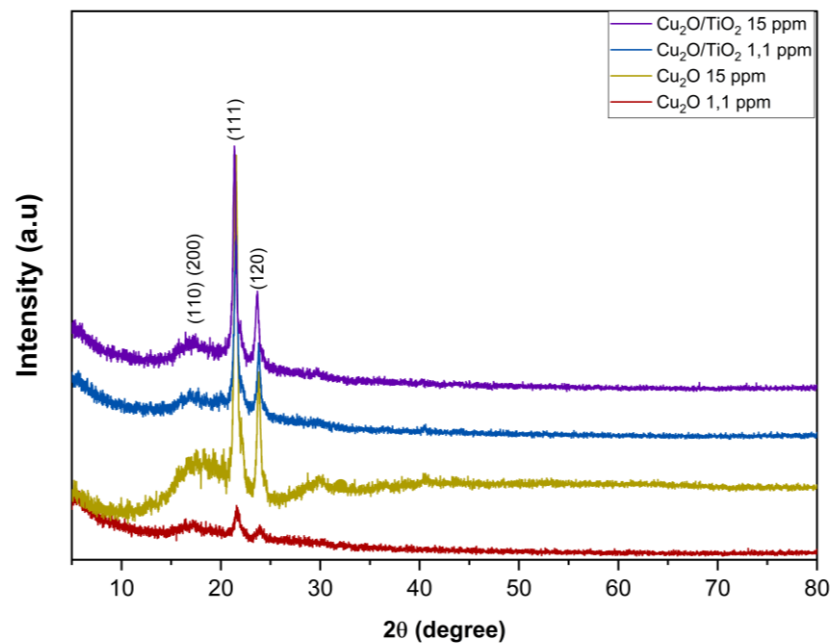
#### 4.2.1 Hasil Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan dalam menganalisis senyawa yang terbentuk pada sampel. Berdasarkan pada Gambar 4.1 didapati hasil pengujian XRD sampel endapan  $\text{Cu}_2\text{O}$  QDs dimana  $\text{Cu}_2\text{O}$  QDs diendapkan menggunakan mesin *centrifuge* kemudian hasil endapan diambil untuk diuji XRD. Melalui Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa terdapat beberapa puncak difraksi yang dapat mengindikasikan terbentuknya nanopartikel  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Pada puncak difraksi sudut 29,6 mengindikasikan adanya senyawa  $\text{Cu}_2\text{O}$  (110) 36,5 menandakan terbentuknya endapan  $\text{Cu}_2\text{O}$  (111) dan pada puncak difraksi dengan sudut 42,1 menandakan terbentuknya  $\text{Cu}_2\text{O}$  (200) (ICCD 01-077-0199) (Kooti et al., 2010). Adapun pada puncak difraksi pada sudut 21,49 merupakan grup senyawa silika ( $\text{SiO}_2$ ). Terdeteksinya senyawa silika pada sampel dapat disebabkan oleh sample holder silika yang digunakan pada saat pengujian XRD. Selain itu, pada Gambar 4.1 juga tidak ditemukan adanya puncak QDs  $\text{Cu}_2\text{O}$  maupun  $\text{TiO}_2$ . Hal ini dapat disebabkan oleh sulitnya dalam membentuk endapan sampel yang memiliki cukup konsentrasi QDs sehingga hasil XRD tidak dapat memunculkan puncak difraksi sampel.





**Gambar 4.2** Hasil pengujian XRD sampel  $\text{Cu}_2\text{O}$  dan  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$



**Gambar 4.3** Hasil pengujian XRD sampel NF-QDs

Pada pengujian XRD sampel *nanofiber* NF-QDs tiap variasi, diperoleh hasil puncak difraksi seperti pada Gambar 4.2. Terdapat dua puncak dengan intensitas yang tinggi terletak pada puncak difraksi dengan sudut 21,8 dan sudut 23,65 yang dimiliki oleh senyawa pada *polycaprolactone* (PCL) dengan indikasi planar (120) dan (111) berturut-turut. Sedangkan pada sudut disekitar 16, dan 17 terbentuk sebuah indikasi puncak difraksi yang lebar, mengindikasikan keberadaan senyawa hexagonal *polycarylonitrile* (PAN). Namun, tidak terdeteksi adanya puncak difraksi yang menunjukkan keberadaan senyawa  $\text{Cu}_2\text{O}$  maupun  $\text{TiO}_2$ ,



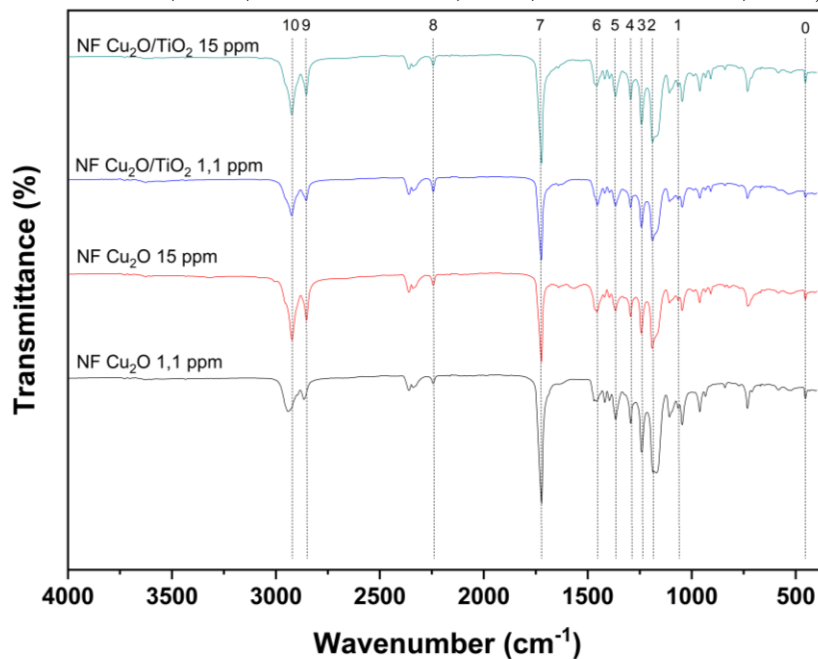
LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

yang dapat disebabkan akibat kecilnya konsentrasi QDs yang terdapat pada sampel *nanofiber* sehingga tidak menunjukkan puncak difraksi yang berarti.

#### 4.2.2 Hasil Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan dalam menganalisis gugus fungsi yang terdapat pada tiap variasi sampel NF-QDs. Grafik hasil pengujian FTIR tiap variasi NF-QDs terdapat pada Gambar 4.3 dibawah ini.

Melalui Gambar 4.3, tiap puncak transmisi yang dianalisis digarisi oleh garis putus-putus. Pada puncak pertama, dengan wavenumber pada  $1067,3 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus C–CN yang merupakan salah satu gugus pada *polycarylonitrile*. Sedangkan pada puncak transmisi No.2 berada pada wavenumber  $1080,02 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus stretching C–O–C milik *polycaprolactone*. Pada puncak transmisi No.3 berada pada wavenumber  $1237,53 \text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus fungsi  $\nu\text{C-O}$  Puncak transmisi No.4 yang berada pada wavenumber  $1293,52 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan gugus fungsi C-H. Puncak transmisi No.5 dengan wavenumber  $1365,4$  menunjukkan adanya gugus fungsi alifatik  $\delta\text{C-H}$  pada CH. Sedangkan pada puncak No.6 menunjukkan gugus fungsi  $1453,17 \text{ cm}^{-1}$  yang merupakan gugus fungsi alifatik  $\delta\text{C-H}$  golongan  $\text{CH}_2$ . Selanjutnya pada puncak No.7 dengan wavenumber  $1724,04 \text{ cm}^{-1}$  merupakan gugus fungsi C=O. Pada puncak transmisi No.8 dengan wavenumber  $2243,85 \text{ cm}^{-1}$  merupakan gugus fungsi C $\equiv$ N *stretching vibration*. Puncak transmisi No.9 dengan wavenumber  $2853,7 \text{ cm}^{-1}$  merupakan gugus fungsi  $\text{CH}_2$  symmetric. Dan pada puncak transmisi No.10 menunjukkan adanya gugus fungsi CH dengan wavenumber  $2942,23 \text{ cm}^{-1}$  (Ademola Bode-Aluko et al., 2021; Karbownik et al., 2015; Muthuselvi et al., 2018).

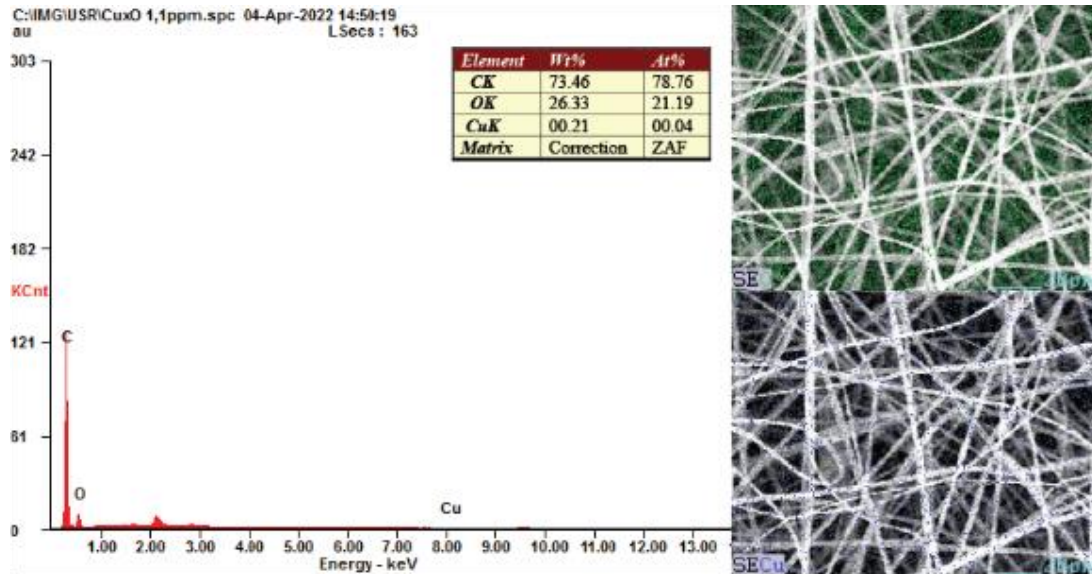


**Gambar 4.4** Grafik hasil FTIR tiap variasi NF-QDs

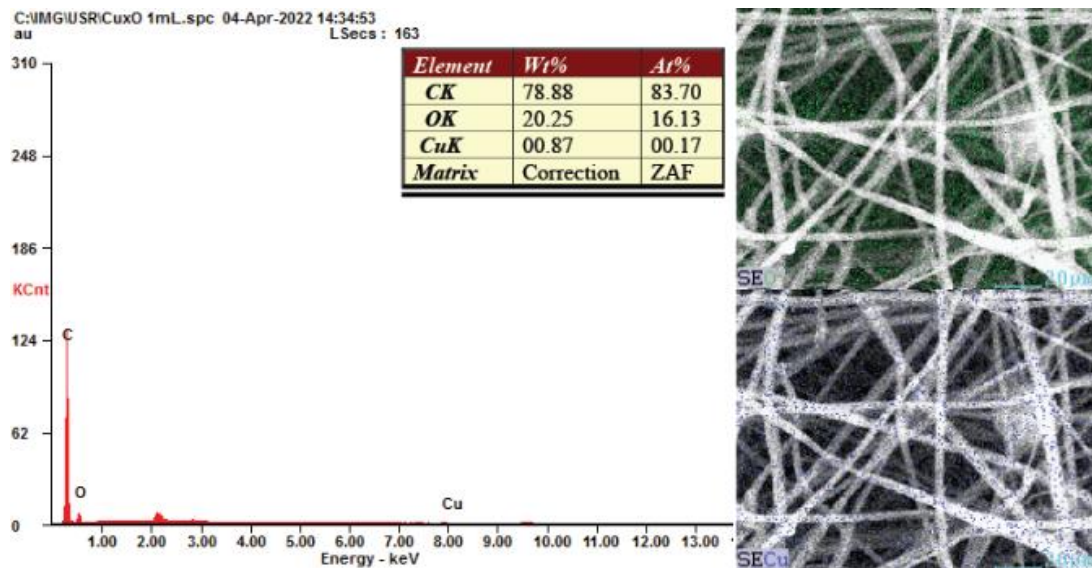
Sedangkan pada puncak transmisi dengan kode 0 dengan wavenumber  $453,65$ , mengindikasikan adanya gugus *stretching vibration* Cu-O yang terbentuk. Namun, pada sampel *nanofiber* NF-QDs  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ , tetap tidak ditemukan adanya puncak serapan yang menunjukkan gugus fungsi yang dimiliki  $\text{TiO}_2$  yang mungkin disebabkan oleh konsentrasi  $\text{TiO}_2$  yang kecil.

### 4.3 Hasil Pengujian EDX Mapping

Hasil analisis EDX dan Mapping memperlihatkan persebaran unsur-unsur pada *nanofiber* NF-QDs. Adapun persebaran unsur-unsur hasil analisis EDX Mapping ditunjukkan pada Gambar 4.4 - 4.7 dibawah ini.

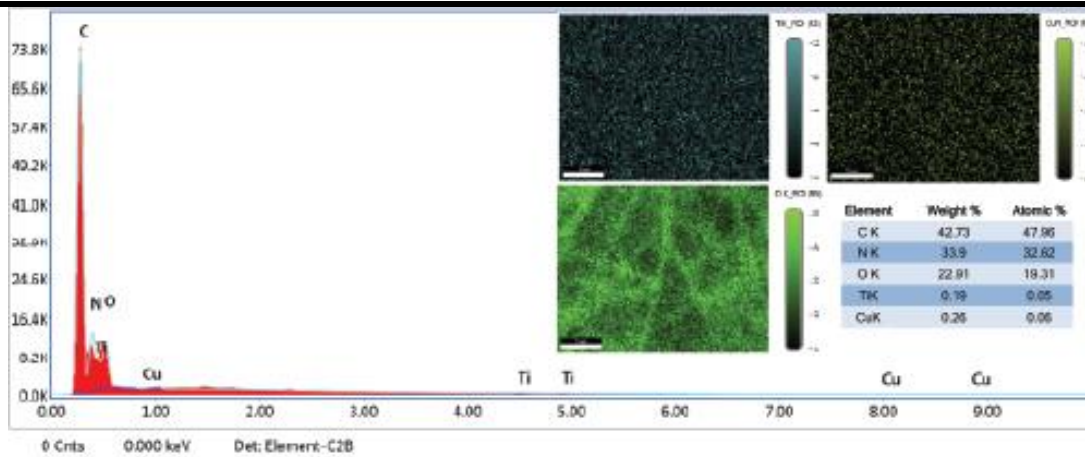


**Gambar 4.5** Hasil EDX-Mapping sampel NF-Cu<sub>2</sub>O 1,1 ppm

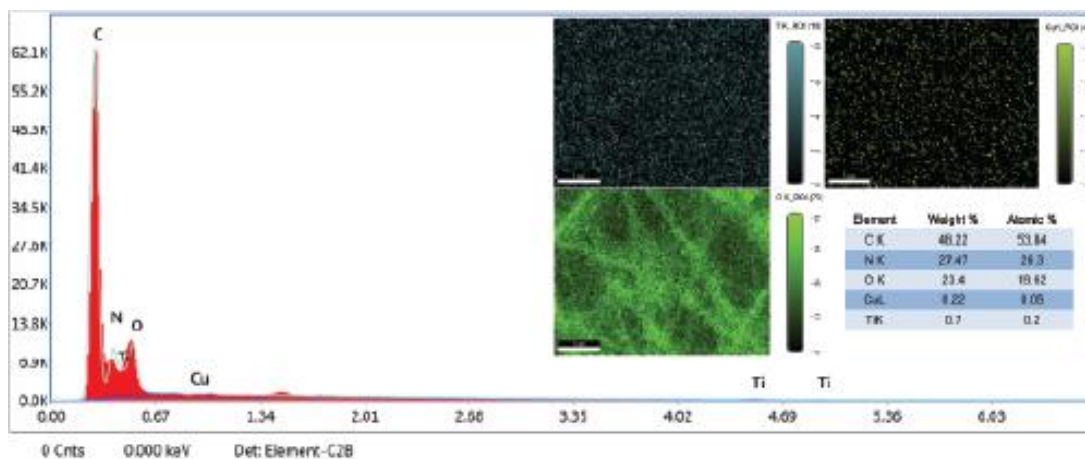


**Gambar 4.6** Hasil EDX-Mapping sampel NF-Cu<sub>2</sub>O 15 ppm

LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



Gambar 4.7 Hasil EDX-Mapping sampel NF-Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 1,1 ppm

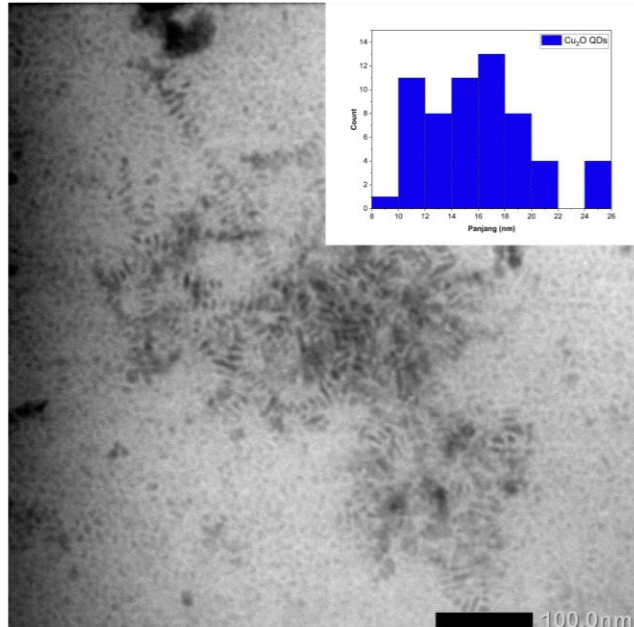


Gambar 4.8 Hasil EDX-Mapping NF-Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 15 ppm

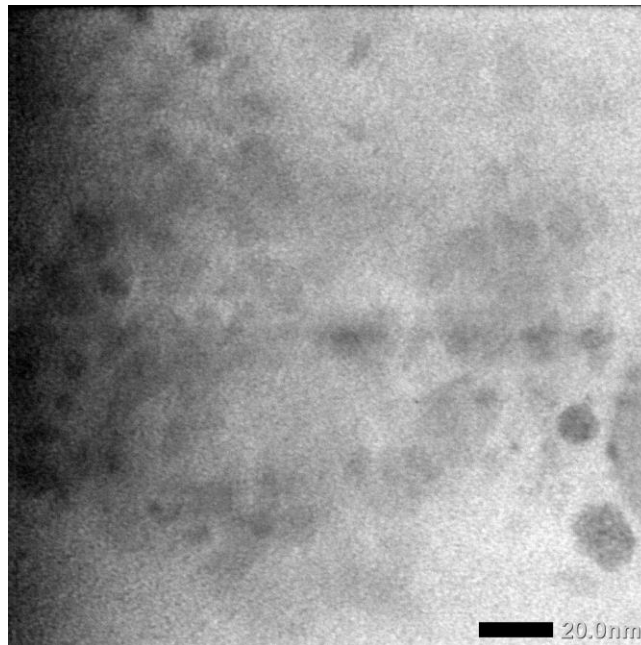
Berdasarkan hasil EDX-Mapping pada Gambar 4.3, Persebaran unsur-unsur seperti Cu, Ti, dan O dapat diamati, pada hasil EDX-Mapping tiap variasi didapatkan bahwa unsur-unsur tersebut telah terdispersi secara homogen. Melalui hasil EDX dapat dilihat bahwa penambahan konsentrasi QDs pada campuran akan meningkatkan persentase unsur yang terdapat pada *nanofiber*, mengindikasikan bahwa fabrikasi *nanofiber* dengan variasi konsentrasi QDs mungkin dilakukan. Selain itu, persentase unsur Cu dan Ti yang terdapat pada sampel NF-QDs memiliki nilai yang relatif sangat kecil, hal ini memperjelas fenomena yang terjadi pada hasil pengujian FTIR pada Gambar 4.3 dimana tidak terlihat adanya puncak serapan TiO<sub>2</sub> yang diindikasikan dari konsentrasi QDs yang terlalu kecil.

#### 4.4 Hasil Pengujian TEM

Pengujian TEM dilakukan dalam mengobservasi nanopartikel Cu<sub>2</sub>O dan Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> yang terbentuk pada hasil sintesis. Adapun hasil observasi TEM tiap variasi nanopartikel adalah pada Gambar 4.8. Melalui Gambar 4.8, dihasilkan nilai ukuran rata-rata nanopartikel Cu<sub>2</sub>O QDs dengan panjang  $15.33 \pm 0.80$  nm dan lebar  $4.97 \pm 0.52$  nm. Sedangkan nilai ukuran nanopartikel Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> berada pada rata-rata  $9.91 \pm 0.15$  nm.



**Gambar 4.9** Persebaran ukuran nanopartikel Cu<sub>2</sub>O



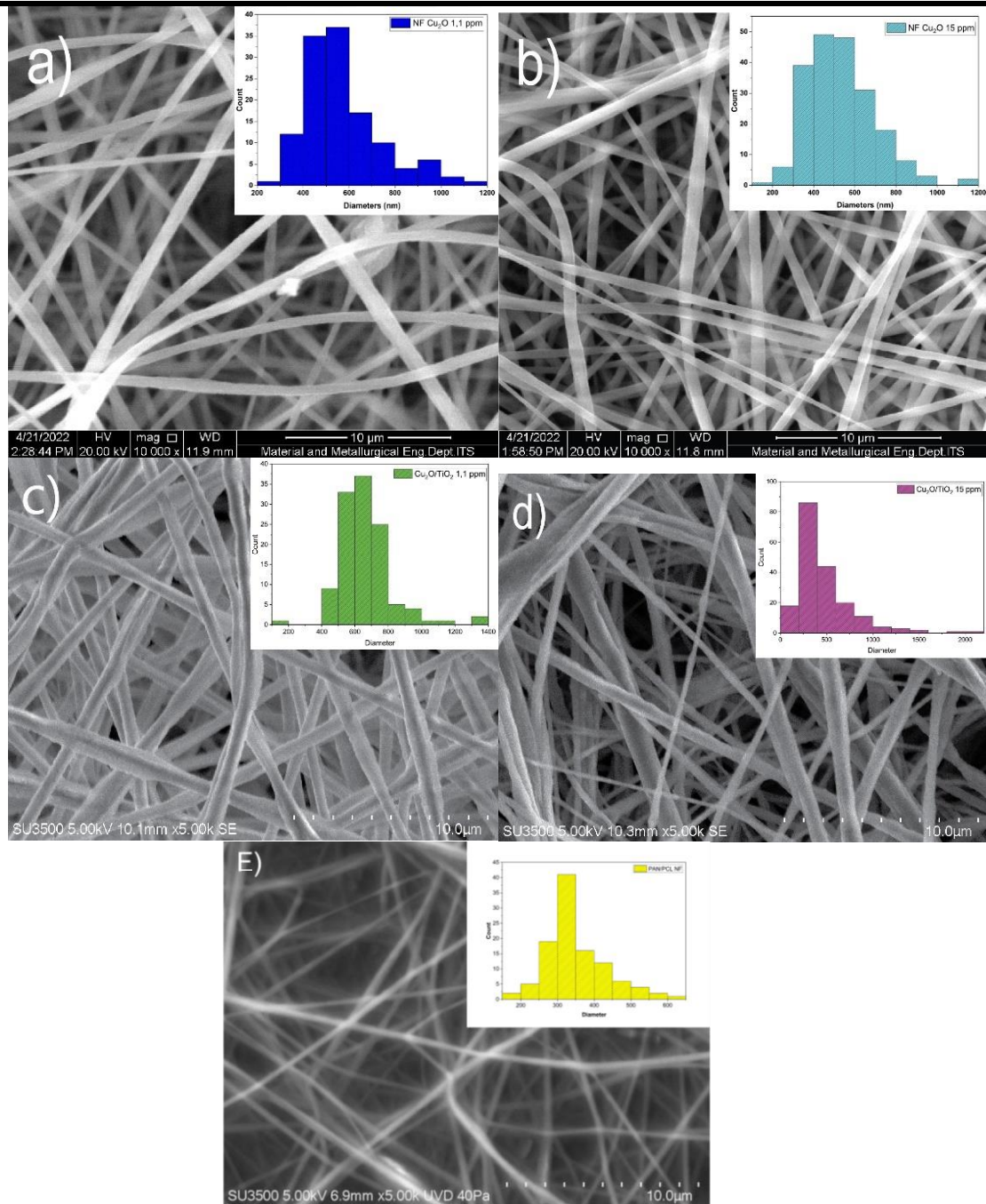
**Gambar 4.10** Struktur nanopartikel Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>

#### 4.5 Hasil Pengujian SEM

Morfologi *nanofiber* NF-QDs diobservasi menggunakan instrumen SEM dengan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.10, hasil observasi SEM kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak Imagej untuk mengetahui persebaran dan diameter rata-rata fiber, adapun hasil perhitungan persebaran diameter fiber telah sebagaimana pada Tabel 4.1



LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



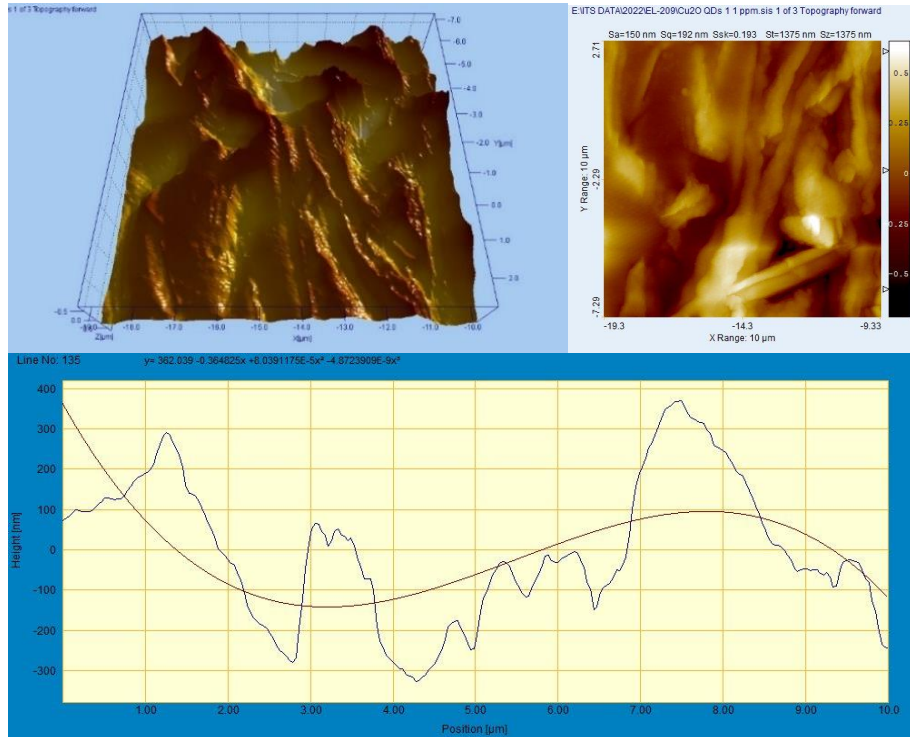
**Gambar 4.11** Hasil citra SEM dan persebaran diameter fiber tiap variasi sampel *nanofiber*

**Tabel 4.1** Diameter rata-rata tiap variasi *nanofiber*

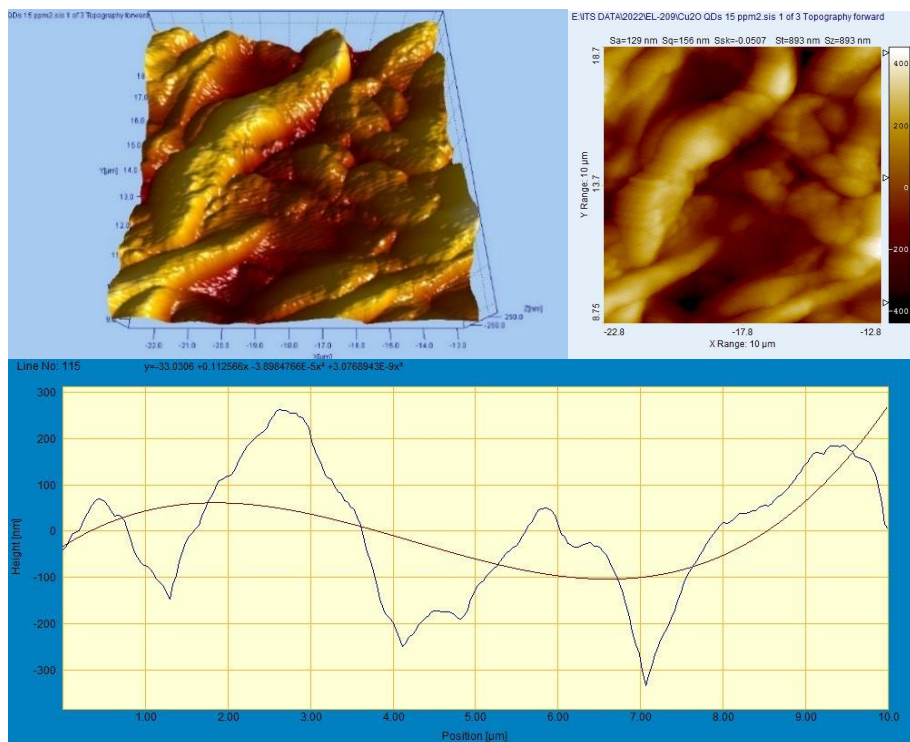
No	Sampel	Average Diameter Fiber (nm)
1	NF-Cu <sub>2</sub> O 1,1 ppm	512,92±8,32
2	NF-Cu <sub>2</sub> O 15 ppm	502,54± 2,09
3	NF-Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> 1,1 ppm	632,67 ± 5,76
4	NF-Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> 15 ppm	343,02± 14,30
5	NF	322,96 ± 4,64

#### 4.6 Hasil Pengujian AFM

Observasi *Atomic Force Microscope* AFM dilakukan untuk memperoleh topografi permukaan *nanofiber* NF-QDs, dimana perhitungan *average surface roughness* didapatkan secara otomatis menggunakan pengolahan pada program Gwyddion. Adapun data setiap variasi ditunjukkan pada Gambar 4.13 sampai Gambar 4.16 dibawah ini

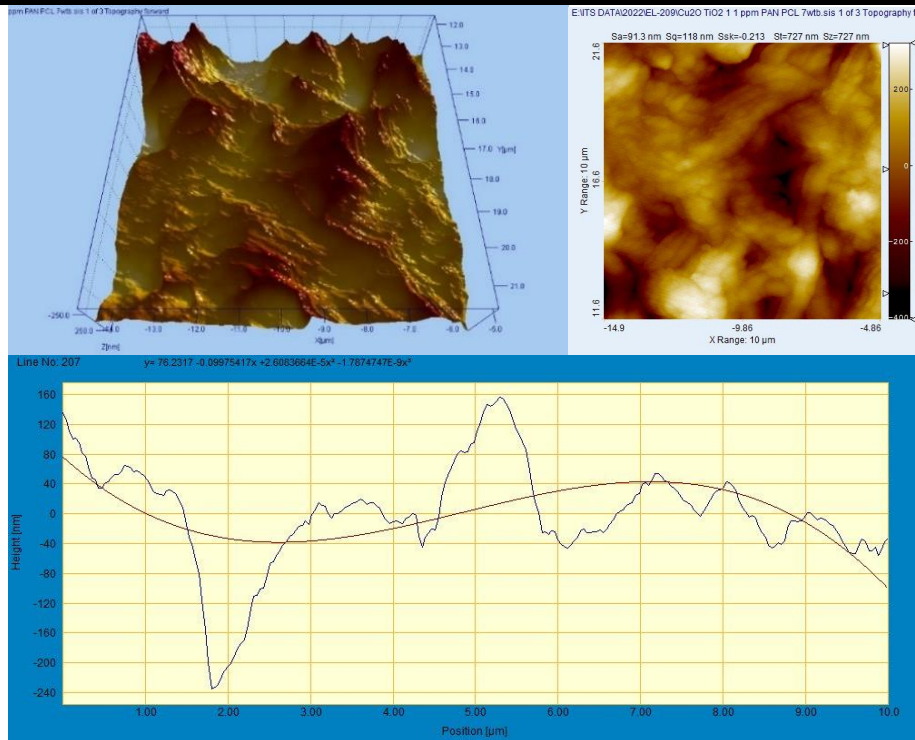


Gambar 4.12 Topografi permukaan NF-Cu<sub>2</sub>O 1,1 ppm

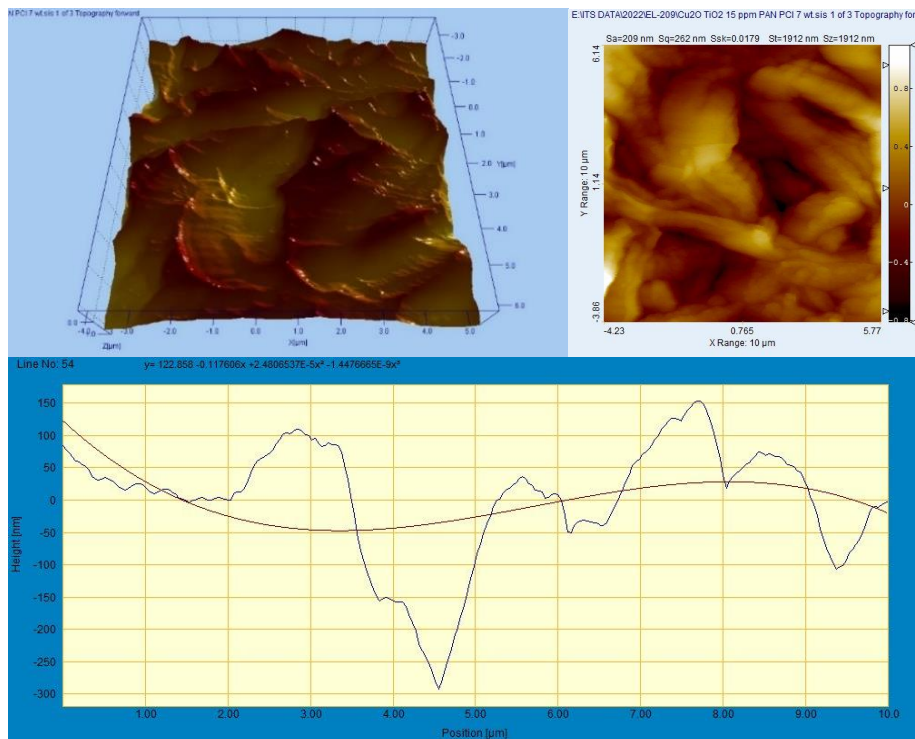


Gambar 4.13 Topografi permukaan NF-Cu<sub>2</sub>O 15 ppm

# LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



**Gambar 4.14** Topografi permukaan NF-Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 1,1 ppm



**Gambar 4.15** Topografi permukaan NF-Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 15 ppm

Dimana hasil tabulasi nilai kekasaran permukaan berdasarkan pengujian AFM dan hasil dari pengolahan otomatis program Gwyddion tiap variasi sampel NF-QDs adalah sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.2

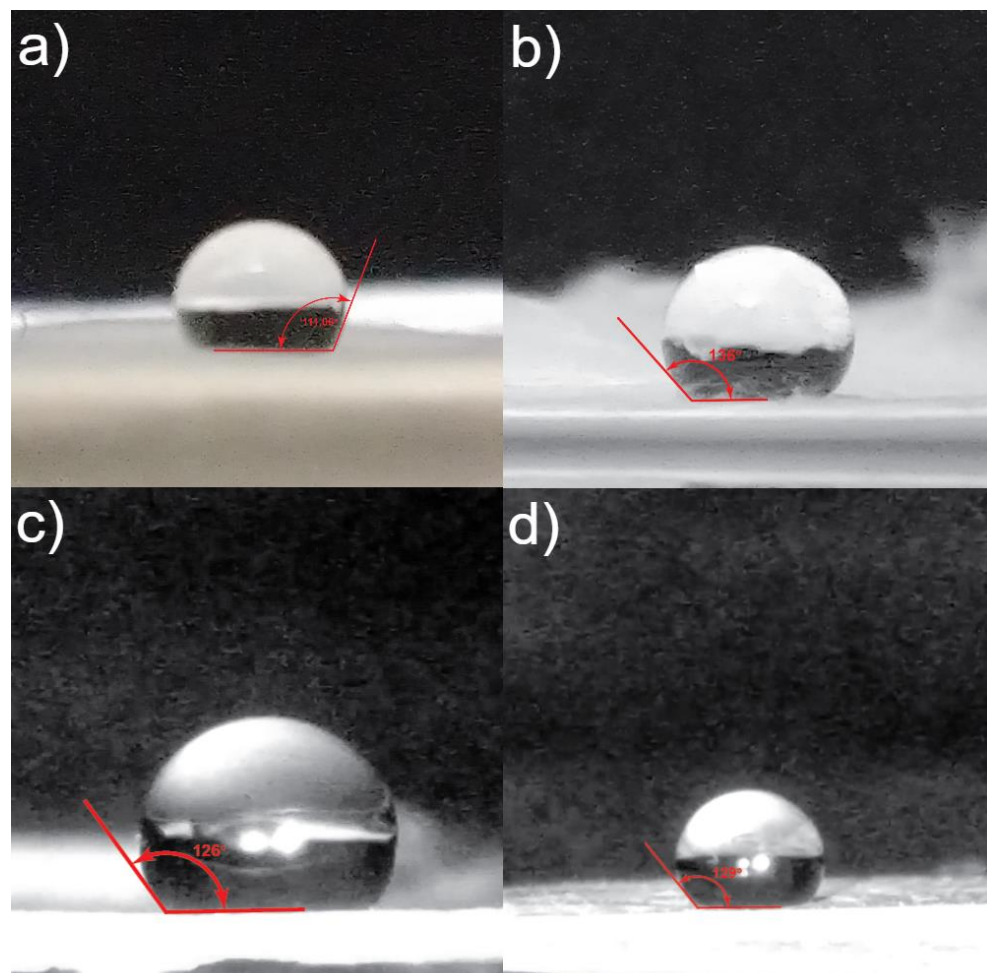


**Tabel 4.2** Nilai kekasaran permukaan tiap sampel hasil pengujian AFM

No	Sampel	Average roughness ( $S_a$ )	Root Mean Square Roughness ( $S_q$ )
1	NF-Cu <sub>2</sub> O 1,1 ppm	180.132 nm	246.552 nm
2	NF-Cu <sub>2</sub> O 15 ppm	219.395 nm	305.383 nm
3	NF-Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> 1,1 ppm	165.434 nm	234.468 nm
4	NF-Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> 15 ppm	243.461 nm	289.444 nm

#### 4.7 Hasil Pengujian Hidrofobisitas

Pengujian hidrofobisitas dimaksudkan dalam menentukan *wettability* sampel *nanofiber*. Pengujian ini dilakukan menggunakan metode *Contact Angle*, dengan meneteskan  $\pm 20 \mu\text{L}$  tetesan air keatas permukaan *nanofiber* menggunakan *micropipette* kemudian mengambil gambar tetesan air tersebut menggunakan perangkat kamera. Pada hasil pengujian, setiap variasi sampel NF-QDs menunjukkan sifat yang cenderung hidrofobik yang ditandai dengan *contact angle* yang memiliki nilai diatas  $90^\circ$ . Adapun hasil pengujian hidrofobisitas tiap sampel ditunjukkan pada Gambar 4.15.



**Gambar 4.16** Hasil pengujian *Contact Angle* tiap sampel *nanofiber* (a) Cu<sub>2</sub>O 1,1 ppm, (b) Cu<sub>2</sub>O 15 ppm, (c) Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 1,1 ppm, (d) Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 15 ppm



LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

#### 4.8 Hasil Pengujian BET

Hasil pengujian BET NF-QDs dilakukan untuk melihat ukuran pori yang terdapat pada sampel *nanofiber* hasil fabrikasi. Dimana data yang sudah didapat ditabulasikan sebagaimana pada Tabel 4.3 dibawah ini.

**Tabel 4.3** Tabulasi ukuran pori tiap sampel *nanofiber*

No	Sampel	$V_m$ ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	Average Pore Size (nm)
1	<i>Nanofiber</i> Cu <sub>2</sub> O 1,1 ppm	0.3120	3.124
2	<i>Nanofiber</i> Cu <sub>2</sub> O 15 ppm	0.003146	7.316
3	<i>Nanofiber</i> Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> 1,1 ppm	0.002808	10.034
4	<i>Nanofiber</i> Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> 15 ppm	0.004399	11.457

$V_m$  = Volume nitrogen yang diadsorpsi permukaan *nanofiber*

#### 4.9 Hasil Pengujian Zeta Potensial

Pengujian zeta potensial dilakukan dalam mengetahui kecenderungan muatan pada permukaan partikel khususnya QDs dan QDs saat tersemat didalam larutan PAN/PCL dimana nilai zeta potensial menggambarkan besaran gaya tarik antar partikel dalam suatu medium. Dengan kata lain, nilai zeta potensial dapat mengindikasikan muatan yang terdapat pada permukaan nanopartikel. Adapun grafik hasil pengujian zeta potensial tiap sampel ditabulasikan dalam Tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Nilai zeta potensial tiap variasi sampel

No	Sampel	Nilai zeta potensial (mV)
1	PAN/PCL	-8,12
2	Cu <sub>2</sub> O QDs	-2,89
3	Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> QDs	1,29
4	PAN/PCL/Cu <sub>2</sub> O	-25
5	PAN/PCL/Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub>	-4,81

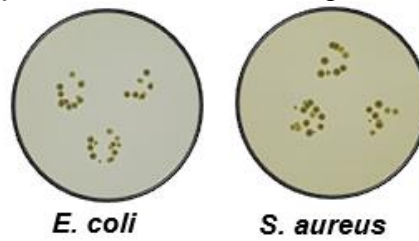
#### 4.10 Hasil Pengujian Antibakteri

Pengujian antibakteri dilakukan dengan menggunakan 2 jenis bakteri, yaitu *E. coli* dan *S. aureus*. Dimana pengujian juga dilakukan dengan dua lingkungan yang terang, dimana lingkungan terang diatur menggunakan lampu uV dengan panjang gelombang 500 nm. Adapun metode pengujian antibakteri dilakukan dengan melarutkan sejumlah konsentrasi QDs dan NF-QDs kedalam pelarut dengan total volume 99 mL. 1 mL suspensi koloni bakteri ditambahkan kedalam larutan tersebut sehingga konsentrasi bakteri pada larutan menjadi  $10^{-6}$  CFU/mL. Larutan tadi kemudian dihitung konsentrasinya setiap 30 detik, 1 menit, dan 1 jam menggunakan metode *plate count* pada media agar *tryptic soy broth* (TSB). Hasil pengujian antibakteri kemudian dianalisis baik secara visual, maupun melalui perhitungan analisis.

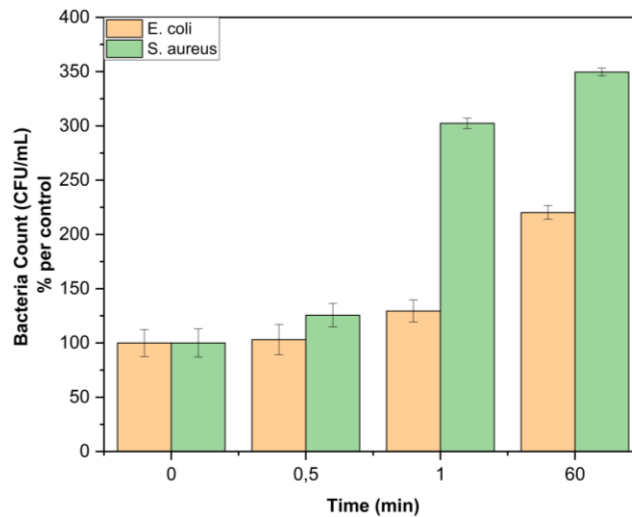
##### 4.10.1 Pengujian Antibakteri pada Sampel *Nanofiber* Kontrol

Agar dapat membandingkan performa antibakteri sampel *nanofiber* sebelum dan sesudah disematkan QDs, perlu dilakukan spengujian antibakteri pada sampel *nanofiber* kontrol, yaitu

sampel *nanofiber* yang belum tersematkan QDs didalamnya. Kemudian hasil pengujian ini akan dibandingkan dengan hasil pengujian sampel *nanofiber* NF-QDs. Adapun hasil pengujian antibakteri pada *nanofiber* kontrol adalah sebagai berikut.



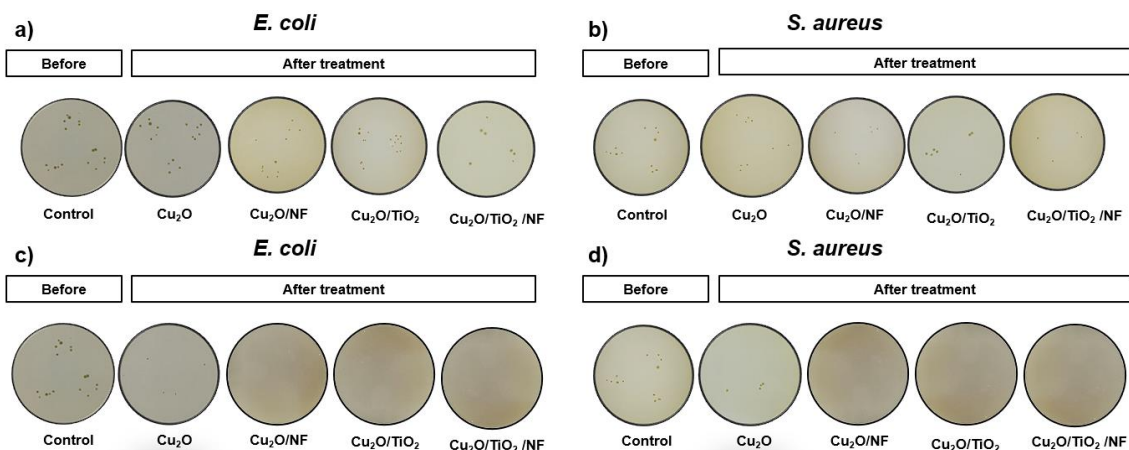
**Gambar 4.17** Medium bakteri pada setiap variasi bakteri pada *nanofiber* kontrol



**Gambar 4.18** Grafik persentase pertumbuhan bakteri pada *nanofiber* kontrol

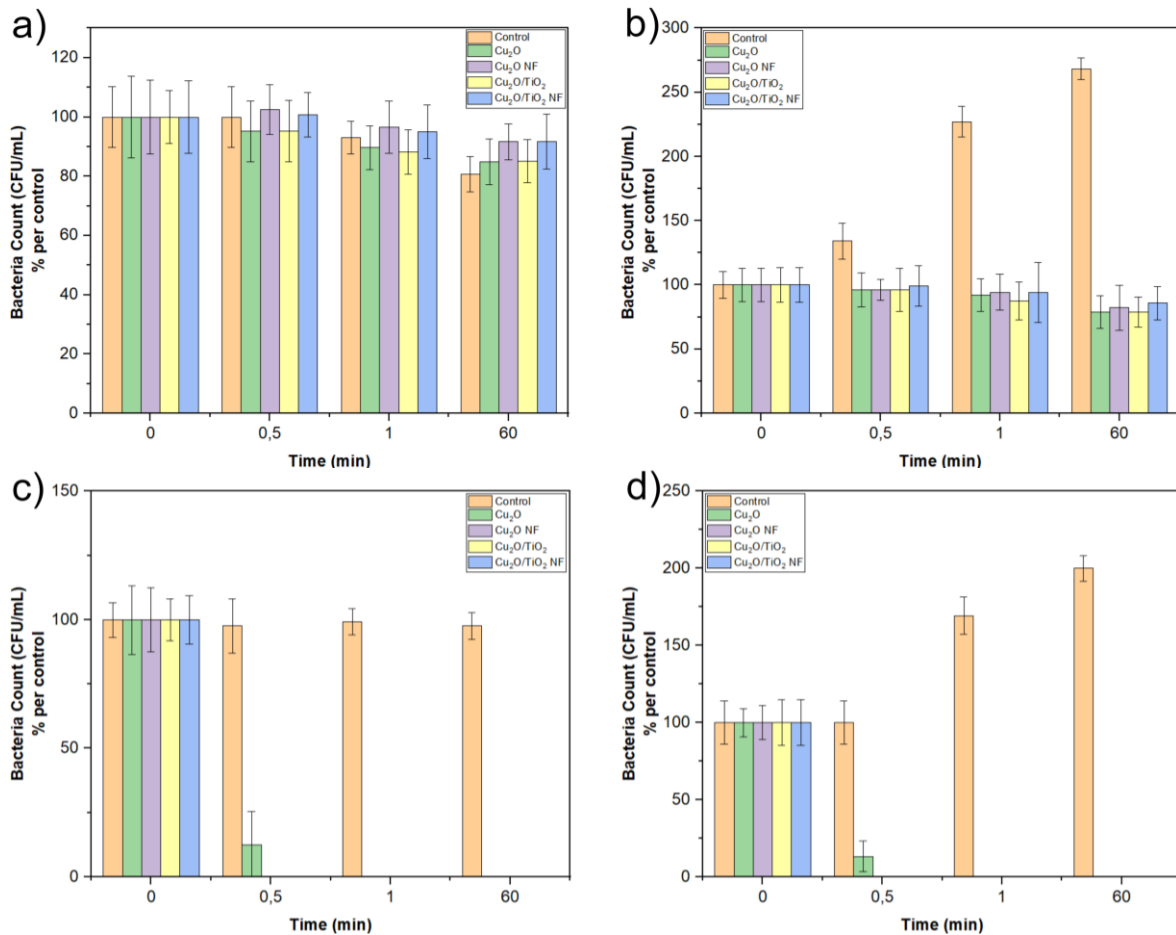
#### 4.10.2 Pengujian Antibakteri Pada Sampel *Nanofiber Quantum Dots*

Pengujian antibakteri dilakukan dengan menggunakan lampu uV dengan gelombang cahaya 500 nm. Gambar 4.19 menunjukkan performa antibakteri tiap sampel. Melalui grafik tersebut dapat dilihat bahwa variasi konsentrasi menunjukkan perbedaan performa antibakteri. Perbandingan efisiensi kemampuan antibakteri tiap sampel dihitung berdasarkan perhitungan persentase koloni bakteri setelah 1 jam pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.5



**Gambar 4.19** Medium bakteri sebelum dan sesudah perlakuan (a) *E. coli* 1,1 ppm (b) *S. aureus* 1,1 ppm, (c) *E. coli* 15 ppm, dan (d) *S. aureus* 15 ppm

LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



**Gambar 4.20** Grafik performa antibakteri tiap sampel pada kondisi terang (a) *E. coli* 1,1 ppm (b) *S. aureus* 1,1 ppm, (c) *E. coli* 15 ppm, dan (d) *S. aureus* 15 ppm

**Tabel 4.5** Efisiensi antibakteri tiap variasi sampel

No	Sampel	Efisiensi (%)			
		E. coli		S. Aureus	
		1,1 ppm	15 ppm	1,1 ppm	15 ppm
1	Cu <sub>2</sub> O	15	100	21	100
2	NF-Cu <sub>2</sub> O	8	100	18	100
3	Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub>	15	100	21	100
4	NF-Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub>	8	100	14	100

#### 4.11 Analisis Pengaruh Variasi QDs Terhadap Morfologi Permukaan *Nanofiber-Quantum Dots*

##### 1. *Fiber Diameter*

Melalui hasil analisis kualitatif, *nanofiber-quantum dots* hasil fabrikasi menunjukkan peningkatan ukuran diameter fiber dibandingkan dengan variasi *nanofiber* PAN/PCL tanpa *quantum dots*. Dimana *nanofiber* tanpa QDs menunjukkan diameter dengan skala  $\pm 300$  nm sedangkan setelah disematkan QDs diameter fiber dapat meningkat menjadi  $\pm 500$  nm. Berdasarkan data tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan QDs kedalam *nanofiber* akan meningkatkan diameter fiber yang dihasilkan. Selain itu, Hasil fabrikasi *nanofiber* pada tiap variasi QDs menghasilkan

bentuk yang cukup bervariasi, dimana *nanofiber* NF-Cu<sub>2</sub>O dengan konsentrasi 1,1 ppm dan 15 ppm, dan *nanofiber* NF-Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 1,1 ppm memiliki persebaran struktur *nanofiber* yang cenderung *uniform* atau seragam dari aspek diameter fiber. Sedangkan, pada variasi *nanofiber* NF-Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 15 ppm menghasilkan diameter fiber yang lebih kecil, namun dengan persebaran struktur *nanofiber* yang lebih acak dan tidak seragam pada tiap fiber tunggal, dimana terdapat perbedaan ukuran fiber tunggal yang signifikan antara satu fiber dengan fiber yang lain. Fenomena tersebut dapat disebabkan akibat beberapa parameter yang sulit dikontrol seperti perubahan konduktivitas larutan yang terjadi saat penambahan larutan QDs kedalam campuran PAN/PCL (Yin et al., 2022). Sedangkan secara garis besar, perubahan konsentrasi QDs tidak terlalu menunjukkan adanya perubahan diameter yang signifikan, menandakan bahwa fabrikasi NF-QDs dengan konsentrasi yang berbeda dapat dilakukan tanpa khawatir mengubah morfologi permukaan pada aspek diameter fiber dengan drastis.

## 2. Kekasaran Permukaan

Hasil topografi AFM serta perhitungan *surface roughness* rata-rata dari setiap variasi sampel menunjukkan nilai kekasaran permukaan yang berskala nanometer, dengan range antara 180 hingga 240 nanometer. Perbedaan konsentrasi QDs pada *nanofiber* mengindikasikan adanya perubahan kekasaran permukaan *nanofiber*, dimana konsentrasi yang lebih rendah menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih kecil. Penambahan konsentrasi QDs kedalam campuran *nanofiber* akan meningkatkan kekasaran permukaan akibat adanya penyematan nanopartikel-nanopartikel QDs kedalam fiber maupun menempel ke permukaan *nanofiber*, sehingga dapat meningkatkan kekasaran permukaan *nanofiber* (Ebrahimi et al., 2022).

## 3. Hidrofobisitas

Berdasarkan hasil dari pengujian *contact angle*, dapat diobservasi bahwa *nanofiber* pada semua variasi konsentrasi dan QDs memiliki sifat hidrofobik. Hal ini berhubungan dengan sifat alami polimer *polycaprolactone* yang sepenuhnya hidrofobik (Yew et al., 2018). Adanya pencampuran *polycaprolactone* dan *polyacrylonitrile* sebagai *nanofiber* akan membawa sifat hidrofobik *nanofiber* PAN/PCL. Selain itu, adanya penambahan QDs juga dapat mempengaruhi sifat hidrofobik suatu *nanofiber*, hal ini disebabkan karena penambahan nanopartikel QDs dapat meningkatkan *surface roughness nanofiber*, sehingga dapat meningkatkan hidrofobisitas dari *nanofiber* (Javazmi et al., n.d.; Pais et al., 2021). Namun, peningkatan *surface roughness* yang terlalu tinggi dapat menurunkan aspek hidrofobisitas suatu *nanofiber*, hal ini dikarenakan peningkatan *surface roughness* akan mengakibatkan penambahan *surface area* yang memiliki efek menurunkan hidrofobisitas suatu *nanofiber* (Ebrahimi et al., 2022).

## 4. Ukuran Pori

Berdasarkan hasil pengujian BET sebagaimana pada Tabel 4.4 didapatkan nilai *pore size* dengan range 3-11 nm sehingga diklasifikasikan sebagai *mesopores*. Nilai *pore size* dengan skala nano diatas mengindikasikan bahwa pori tidak terbentuk pada ruang kosong yang terdapat diantara fiber satu dengan yang lain. Hal tersebut lebih diperjelas dengan hasil citra SEM pada Gambar 4.12. Dengan nilai ukuran pori yang relatif sangat kecil, kemungkinan besar ukuran pori NF-QDs ini akan mempengaruhi sifat antibakteri yang dimiliki. Sedangkan penambahan ukuran pori seiring dengan penambahan konsentrasi QDs berbanding lurus dengan penambahan kekasaran permukaan sampel. Hal ini mengindikasikan bahwa kekasaran permukaan dan porositas yang dimiliki *nanofiber-quantum dots* berbanding lurus dan saling mendukung.

5. Nilai Muatan Permukaan

Berdasarkan hasil Tabel 4.4 sebelumnya, nilai zeta potensial tiap sampel menghasilkan nilai yang variatif. Adanya penyematan QDs Cu<sub>2</sub>O dan Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> kedalam polimer PAN/PCL memiliki pengaruh dalam menghasilkan nilai zeta potensial yang negatif pada sampel. Penambahan QDs Cu<sub>2</sub>O kedalam larutan PAN/PCL mengubah nilai zeta potensial dari -8,12 mV ke -2,89 mV. Sedangkan penambahan QDs Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> kedalam larutan PAN/PCL mengubah nilai zeta potensial PAN/PCL dari -8,12 mV menjadi -4,81 mV. Hal ini menandakan bahwa penambahan QDs Cu<sub>2</sub>O dan Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> dapat mengubah nilai zeta potensial *nanofiber* hasil fabrikasi. Selain itu, nilai zeta potensial yang lebih negatif pada campuran PAN/PCL terdapat pada penambahan QDs Cu<sub>2</sub>O dibandingkan dengan penambahan QDs Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>, menandakan bahwa sampel hasil fabrikasi NF-Cu<sub>2</sub>O akan memiliki muatan permukaan yang lebih negatif dibandingkan NF-Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>.

Apabila dilihat dari sisi kestabilan suspensi, suatu campuran akan memiliki stabilitas suspensi yang baik apabila memiliki nilai zeta potensial yang lebih tinggi dari  $\pm 30$  mV. Melihat dari sisi ini, larutan PAN/PCL dan PAN/PCL/Cu<sub>2</sub>O QDs memiliki stabilitas yang lebih baik dari 3 sampel lainnya, hal ini memang tidak secara langsung berhubungan dengan karakteristik permukaan *nanofiber* maupun performa antibakteri *nanofiber* hasil fabrikasi. Namun, aspek ini dapat mempengaruhi metode, proses, serta kemudahan dalam fabrikasi *nanofiber-quantum dots* khususnya NF-Cu<sub>2</sub>O dan NF-Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> (Dembek et al., 2022).

#### 4.12 Analisis Pengaruh Variasi QDs Terhadap Performa Antibakteri *Nanofiber-Quantum Dots*

Berdasarkan hasil pengujian antibakteri yang telah dilakukan pada tiap sampel, mulai dari sampel *nanofiber* PAN/PCL kontrol yang tidak tersemat QDs sama sekali, hingga sampel NF-QDs berbagai variasi, dapat diamati hasil performa antibakteri yang dimiliki tiap sampel dimana tiap variasi sampel menunjukkan performa dan sifat antibakteri yang berbeda-beda.

Pada sampel variasi *nanofiber* PAN/PCL biasa (kontrol), berdasarkan hasil dari Gambar 4.17 dan Gambar 4.18, *nanofiber* PAN/PCL tanpa disematkannya QDs tidak memiliki sifat antibakteri sama sekali. Hal ini dibuktikan dengan pertambahannya jumlah bakteri seiring dengan waktu, dimana persentase koloni bakteri dapat mencapai lebih dari 200% pada kedua kondisi pengujian hanya dalam waktu satu jam. Pertumbuhan bakteri yang signifikan dalam waktu satu jam dapat disebabkan akibat adanya fiber-fiber pada sampel yang menjadi tempat menempel bakteri sehingga bakteri dapat berkembang biak dengan baik, tanpa adanya interupsi dari zat antibakteri sama sekali. Maka dari itu, dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa *nanofiber* PAN/PCL tidak bersifat antibakteri.

Sedangkan, pada variasi sampel *nanofiber quantum dots* berbagai variasi, fenomena antibakteri yang berbeda. Berdasarkan hasil pada Tabel 4.5 dapat dilihat pada konsentrasi 1,1 ppm tiap variasi sampel masih menunjukkan performa antibakteri yang kurang baik. Hal ini mengindikasikan bahwa konsentrasi QDs mengambil peranan penting dalam kemampuan antibakteri sampel. Berdasarkan hasil tersebut, dapat dinyatakan bahwa konsentrasi 1,1 ppm masih terlalu kecil untuk mampu menghambat pertumbuhan bakteri *E. coli* dan *S. aureus*. Disatu sisi, berdasarkan grafik pada Gambar 4.20, seluruh sampel dengan konsentrasi 15 ppm pada kondisi terang mampu mengurangi koloni bakteri hingga 0% dalam waktu 1 jam, menandakan bahwa konsentrasi 15 ppm merupakan konsentrasi yang cukup untuk membunuh bakteri gram negatif dan positif, dalam hal ini diwakili oleh *E. coli* dan *S. aureus*. Selain itu, dapat dilihat pada grafik (c) dan (d) Gambar 4.20 bahwa pada interval waktu 30 detik, variasi NF-Cu<sub>2</sub>O mampu menginaktivasi 100% koloni bakteri *E. coli* dan *S. aureus* sedangkan pada

variasi QDs Cu<sub>2</sub>O, masih terdapat ±12,5% koloni E. coli dan 13,2% koloni S. aureus. Fenomena ini mengindikasikan bahwa selain faktor konsentrasi, faktor lain yaitu faktor struktur atau bentuk sampel juga berpengaruh, menandakan bahwa penyematan QDs Cu<sub>2</sub>O kedalam *nanofiber* memiliki peran dalam meningkatkan sifat antibakterinya apabila dalam konsentrasi yang sesuai. Namun, dalam menentukan konsentrasi optimal QDs yang dibutuhkan dalam mencapai efisiensi antibakteri yang optimal, dalam hal ini dibawah 15 ppm, masih dibutuhkan penelitian lebih lanjut dan lebih mendalam.

#### 4.13 Analisis Hubungan Morfologi Permukaan Terhadap Performa Antibakteri *Nanofiber Quantum Dots*

Analisis hubungan morfologi permukaan terhadap sifat antibakteri dilakukan dengan membandingkan morfologi permukaan tiap variasi sampel terhadap performa antibakteri yang dimiliki sampel. Adapun pembahasan yang dilakukan akan dibedakan berdasarkan parameter-parameter morfologi permukaan yang diobservasi.

##### 1. *Fiber Diameter*

Berdasarkan hasil pengujian SEM didukung dengan pengujian performa antibakteri, dapat dilihat bahwa parameter diameter fiber mampu secara signifikan mempengaruhi aspek kemampuan antibakteri *nanofiber*. Menurut data persebaran diameter pada Gambar 4.11, diameter fiber NF-Cu<sub>2</sub>O memiliki nilai rata-rata 502,54± 2,09 nm dimana diameter tidak berbeda jauh dengan diameter rata-rata bakteri E. coli (1-2 μm) dan S. aureus (0,5-1,5 μm). Adanya kemiripan ukuran dapat mempengaruhi kecenderungan bakteri untuk menempel pada permukaan, dimana permukaan diameter yang memiliki ukuran mirip dengan bakteri akan memberikan tempat menempel yang cukup bagi bakteri, sehingga meningkatkan interaksi antara permukaan *nanofiber* dan dinding bakteri. Disatu sisi, hal ini dapat menyebabkan proliferasi bakteri dikarenakan bakteri dapat menjadikan fiber sebagai *scaffold* untuk berkembang seperti yang ditunjukkan pada hasil pengujian antibakteri pada sampel *nanofiber* kontrol. Namun, apabila didukung konsentrasi QDs yang sesuai, penempelan bakteri ini akan mempercepat proses inaktivasi bakteri. Hal tersebut didukung dengan adanya peningkatan performa antibakteri pada sampel NF-Cu<sub>2</sub>O 15 ppm dibandingkan dengan varian QDs nya.

Namun, struktur sampel *nanofiber* yang berupa serat fiber yang tersusun secara acak seperti pada Gambar 4.11 memberikan tempat bagi bakteri untuk menempel dan berkembang. Sehingga, apabila tidak diiringi dengan kemampuan QDs dalam melakukan inaktivasi bakteri akibat kurangnya konsentrasi QDs, bakteri dapat tetap tumbuh dan berkembang. Hal tersebut dapat dilihat pada pengujian antibakteri dengan konsentrasi 1,1 sampel QDs Cu<sub>2</sub>O dan Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> memiliki performa antibakteri yang lebih baik dibandingkan sampel dalam bentuk *nanofiber*-nya pada kasus bakteri E. coli dan S. aureus (Sarioglu et al., 2017). Hal tersebut mengindikasikan bahwa, selain faktor morfologi *nanofiber*, faktor konsentrasi juga harus mendukung agar *nanofiber* memiliki performa antibakteri yang optimal.

##### 2. Kekasaran Permukaan

Selain diameter fiber, aspek kekasaran permukaan juga dapat mempengaruhi performa antibakteri sampel *nanofiber* pada hasil antibakteri yang sebelumnya sudah dipaparkan. Berdasarkan data kekasaran permukaan pada Tabel 4.2 kekasaran permukaan variasi sampel *nanofiber* sampel *nanofiber* memiliki nilai kekasaran 180 hingga 240 nanometer. Aspek kekasaran permukaan ini akan mendukung kecenderungan dinding bakteri untuk menempel pada permukaan *nanofiber*. Nilai kekasaran permukaan fiber disarankan tidak lebih halus dari Ra 200 nm dikarenakan kekasaran permukaan yang terlalu halus akan mengurangi adhesi bakteri pada

LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

---

permukaan *nanofiber* karena berkurangnya *anchoring points* bagi bakteri untuk melekat pada permukaan *nanofiber* (Lu et al., 2020).

3. Hidrofobisitas

Sifat hidrofobik pada sampel NF-QDs memegang peranan penting bagi kemampuan antibakterinya. Berdasarkan data hidrofobisitas pada Gambar 4.16 mengenai hidrofobisitas variasi sampel *nanofiber* sampel *nanofiber* sifat yang hidrofobik ( $CA \geq 90^\circ$ ), dimana nilai hidrofobisitas meningkat seiring dengan peningkatan kekasaran permukaan seperti yang dijelaskan pada penjelasan sebelumnya. Aspek hidrofobisitas ini sangat mempengaruhi kecenderungan dinding bakteri untuk menempel pada permukaan *nanofiber*. Bakteri yang bersifat hidrofobik seperti *S. aureus* cenderung menempel pada permukaan yang hidrofobik juga, maka dari itu penting untuk menjaga hidrofobisitas sampel (Lu et al., 2020). Hal ini dibuktikan dengan kemampuan *nanofiber* NF-Cu<sub>2</sub>O 15 ppm dalam menginaktivasi bakteri dalam waktu 30 detik dibandingkan dengan varian QDs nya.

4. Ukuran Pori

Menurut teori, porositas dapat mempengaruhi *wettability* permukaan *nanofiber* serta memberikan ruang kosong bagi bakteri untuk menempel pada permukaan *nanofiber* dan membentuk *biofilm*. Berdasarkan hal tersebut disarankan ukuran porositas tidak terlalu kecil maupun terlalu besar (50-100 nm) (Hamdan et al., 2021). Pada Tabel 4.3 memperlihatkan bahwa porositas sampel *nanofiber* memiliki nilai dibawah 50 nm. Berdasarkan hasil tersebut, pada kasus ini, faktor porositas dapat dikatakan tidak mengambil peranan penting dalam peningkatan performa antibakteri sampel.

5. Nilai Muatan Permukaan

Nilai zeta potensial yang dimiliki *nanofiber* dapat menggambarkan muatan permukaan yang terdapat pada sampel. Muatan permukaan dapat mempengaruhi aktivitas dan performa antibakteri suatu sampel, dikarenakan muatan permukaan dapat menyebabkan gaya elektrostatis antara permukaan sampel dan permukaan bakteri. Salah satu parameter penting dalam hal ini adalah jenis muatan. Menurut teori, rata-rata bakteri memiliki muatan negatif pada permukaannya, sehingga dapat lebih tertarik menempel pada permukaan yang memiliki muatan permukaan positif. Penelitian oleh (Arakha.M, et.al) menjelaskan bahwa nanopartikel yang memiliki muatan permukaan positif lebih baik dalam menetralkan dan membunuh bakteri baik gram positif maupun gram negatif. Adanya muatan permukaan permukaan yang positif dapat membantu nanopartikel dalam melekat pada permukaan bakteri sehingga meningkatkan mekanisme inaktivasi bakteri oleh QDs. Melihat dari sisi ini, adanya nilai negatif pada sampel PAN/PCL-QDs kemungkinan dapat mempengaruhi performa antibakteri sampel NF-QDs nantinya.

Nilai zeta potensial tiap sampel pada Tabel 4.4, sampel PAN/PCL/QDs menunjukkan kecenderungan memiliki nilai negatif. Dimana menurut teori, muatan negatif pada sampel dapat mencegah penempelan dinding sel bakteri pada permukaan akibat adanya gaya elektrostatis yang saling tolak-menolak antara permukaan sampel dan dinding bakteri. Namun, hasil efisiensi antibakteri tidak menunjukkan pengaruh tersebut. Fenomena ini dapat diakibatkan karena parameter konsentrasi QDs dalam menginaktivasi bakteri serta morfologi seperti diameter, hidrofobisitas dan kekasaran permukaan pada *nanofiber* yang memiliki andil lebih besar dalam melakukan adhesi dengan bakteri masih memegang peranan besar dalam melakukan inaktivasi sehingga tidak menghiraukan kecenderungan elektrostatis antara bakteri dan permukaan fiber. Melalui hasil yang didapatkan, dirasa diperlukan studi lebih lanjut untuk memahami



lebih dalam fenomena serta hubungan antara muatan permukaan terhadap kemampuan antibakteri suatu material secara lebih mendalam.

#### 4.14 Tabulasi Karakterisasi Material

**Tabel 4.6** Tabulasi Karakterisasi Material

No	Sampel	Diameter Fiber	Kekasaran Permukaan	Hidrofobisitas	Ukuran Pori	Zeta potensial
	Diinginkan	$\leq 1000$ nm (Abrigo et al., 2015)	$\geq 200$ nm (Lu et al., 2020)	$> 90^\circ$ (Sarker et al., 2019)	50-100 nm (Hamdan et al., 2021)	Positif (Hanna et al., 2018)
1	NF-Cu <sub>2</sub> O 1,1 ppm	512.92±8.32	180.132	111°	3.124	n/a
2	NF-Cu <sub>2</sub> O 15 ppm	502.54±2.09	219.395	136°	7.316	n/a
3	NF-Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> 1,1 ppm	632.67 ± 5.76	165.434	126°	10.034	n/a
4	NF-Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> 15 ppm	343.02±14.30	243.461	129°	11.457	n/a

Tabel 4.6 merupakan tabulasi karakteristik sampel hasil fabrikasi pada penelitian ini. Pada tabel tersebut telah disertakan karakteristik sampel NF-QDs yang berhasil difabrikasi, beserta karakteristik yang dijadikan referensi atau acuan berdasarkan tiap sumber yang digunakan. Pada aspek diameter fiber, sampel NF-QDs yang berhasil di fabrikasi memiliki karakteristik yang sesuai dengan parameter acuan yaitu dengan nilai dibawah 1000 nm. Pada aspek kekasaran permukaan, sampel NF-QDs yang berhasil difabrikasi menunjukkan adanya ketidak sesuaian nilai yang didapatkan dengan nilai parameter acuan yaitu pada konsentrasi QDs 1,1 ppm. Sedangkan, pada aspek hidrofobisitas, semua sampel sudah menunjukkan sifat hidrofobik yaitu memiliki *contact angle* diatas 90°. Pada segi ukuran pori, tidak ada sampel yang memenuhi kriteria parameter acuan dimana semua ukuran pori lebih kecil dari 50 nm. Sedangkan, pada aspek nilai zeta potensial sampel NF-QDs sendiri tidak dapat diketahui secara pasti nilai muatan permukaan yang dimiliki dikarenakan keterbatasan instrumen zeta potensial yang hanya dapat menguji sampel berupa larutan dan suspensi bukan dalam bentuk padatan. Namun, nilai tersebut dapat diindikasikan dari hasil zeta potensial campuran polimer-QDs nya yang bernilai negatif.

Melalui tabel karakteristik ini. Dapat dilihat pada sampel hasil fabrikasi aspek parameter apa saja yang mampu diperbaiki kedepannya yaitu dari segi kekasaran permukaan dan ukuran pori yang dapat lebih ditingkatkan lagi sehingga sesuai dengan parameter acuan, serta analisis lebih dalam mengenai nilai muatan permukaan sampel NF-QDs secara akurat.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang sudah dilaksanakan, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut.

1. Komposit nanofiber quantum dots berhasil difabrikasi dengan menghasilkan karakteristik permukaan berupa struktur fiber acak dengan diameter fiber dibawah 1000 nm, dengan kekasaran permukaan yang memiliki range 180 hingga 240 nm, menunjukkan sifat yang hidrofobik dan dengan nilai muatan permukaan yang cenderung negatif.
2. Komposit nanofiber quantum dots  $\text{Cu}_2\text{O}$  dan  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$  menunjukkan adanya sifat antibakteri, dengan tingkat efisiensi antibakteri yang berbeda tergantung dari konsentrasi QDs. Berdasarkan hasil penelitian, sampel dengan konsentrasi QDs yang lebih tinggi memiliki performa antibakteri yang lebih baik
3. Perbedaan performa antibakteri dapat diobservasi pada sampel komposit *nanofiber quantum dots* terhadap varian QDs nya dimana pada konsentrasi 15 ppm komposit *nanofiber quantum dots* memiliki performa antibakteri yang jauh lebih baik dibandingkan dengan varian QDs nya. Disisi lain, performa antibakteri komposit *nanofiber quantum dots* konsentrasi 1,1 ppm justru menunjukkan penurunan performa antibakteri dibandingkan dengan varian QDs nya. Hal ini menandakan bahwa selain faktor konsentrasi, faktor morfologi komposit *nanofiber quantum dots* juga memegang peranan penting terhadap performa antibakterinya.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang untuk penelitian kedepannya adalah.

1. Melakukan proses sintesis dan fabrikasi sampel dengan hati-hati, mengikuti metode dan prosedur agar sampel memiliki kualitas terbaik dan lebih merepresentasikan kondisi ideal
2. Pada sampel QDs, penting dalam menemukan metode yang tepat untuk mengendapkan dan mengekstrak sampel dari pelarut. Hal ini dimaksudkan dalam mempermudah proses selanjutnya seperti sampel uji XRD yang lebih berkualitas baik.
3. Menentukan standar dan batasan atau parameter dengan lebih ketat disetiap pengujian, agar mendapatkan hasil yang lebih merepresentasikan kondisi ideal

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR PUSTAKA

- Abrigo, M., Kingshott, P., & McArthur, S. L. (2015). Electrospun polystyrene fiber diameter influencing bacterial attachment, proliferation, and growth. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 7(14), 7644–7652. <https://doi.org/10.1021/acsami.5b00453>
- Ademola Bode-Aluko, C., Perea, O., Kyaw, H. H., Al-Naamani, L., Al-Abri, M. Z., Tay Zar Myint, M., Rossouw, A., Fatoba, O., Petrik, L., & Dobretsov, S. (2021). Photocatalytic and antifouling properties of electrospun TiO<sub>2</sub> polyacrylonitrile composite nanofibers under visible light. *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*, 264. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2020.114913>
- Azizi-Lalabadi, M., Ehsani, A., Divband, B., & Alizadeh-Sani, M. (2019). Antimicrobial activity of Titanium dioxide and Zinc oxide nanoparticles supported in 4A zeolite and evaluation the morphological characteristic. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54025-0>
- Bakirhan, N. K., & Ozkan, S. A. (2018). Quantum dots as a new generation nanomaterial and their electrochemical applications in pharmaceutical industry. In *Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications* (pp. 520–529). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813351-4.00029-8>
- Bandeira, M., Chee, B. S., Frassini, R., Nugent, M., Giovanela, M., Roesch-ely, M., Crespo, J. da S., & Devine, D. M. (2021). Antimicrobial paa/pah electrospun fiber containing green synthesized zinc oxide nanoparticles for wound healing. *Materials*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/ma14112889>
- Barhoum, A., Bechelany, M., Salam, A., & Makhlof, H. (n.d.). *Handbook of Nanofibers*.
- Bezza, F. A., Tichapondwa, S. M., & Chirwa, E. M. N. (2020). Fabrication of monodispersed copper oxide nanoparticles with potential application as antimicrobial agents. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73497-z>
- Bharathi, S. K. V., Murugesan, P., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2020). Recent Trends in Nanocomposite Packaging Materials. In *Innovative Food Processing Technologies: A Comprehensive Review* (pp. 731–755). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.23027-8>
- Butte, S. M., & Waghuley, S. A. (2020). Optical properties of Cu<sub>2</sub>O and CuO. *3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONDENSED MATTER AND APPLIED PHYSICS (ICC-2019)*, 2220, 020093. <https://doi.org/10.1063/5.0001644>
- Can-Herrera, L. A., Oliva, A. I., Dzul-Cervantes, M. A. A., Pacheco-Salazar, O. F., & Cervantes-Uc, J. M. (2021). Morphological and mechanical properties of electrospun polycaprolactone scaffolds: Effect of applied voltage. *Polymers*, 13(4), 1–16. <https://doi.org/10.3390/polym13040662>
- Chen, D., Li, Y., Dai, X., Du, H., Lin, J., & Jin, Y. (2019). Synthesis of Highly Monodisperse Cu<sub>2</sub>O Nanocrystals and Their Applications as Hole-Transporting Layers in Solution-Processed Light-Emitting Diodes. *Chemistry - A European Journal*, 25(65), 14767–14770. <https://doi.org/10.1002/chem.201903094>
- Chen, N. F., Liao, Y. H., Lin, P. Y., Chen, W. F., Wen, Z. H., & Hsieh, S. (2021). Investigation of the characteristics and antibacterial activity of polymer-modified copper oxide nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(23). <https://doi.org/10.3390/ijms222312913>
- Dembek, M., Bocian, S., & Buszewski, B. (2022). Solvent Influence on Zeta Potential of Stationary Phase—Mobile Phase Interface. *Molecules*, 27(3). <https://doi.org/10.3390/molecules27030968>
- Ebrahimi, F., Nabavi, S. R., & Omrani, A. (2022). Fabrication of hydrophilic hierarchical PAN/SiO<sub>2</sub> nanofibers by electrospray assisted electrospinning for efficient removal of

- cationic dyes. *Environmental Technology and Innovation*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102258>
- El-Naggar, M. E., shalaby, E. S., Abd-Al-Aleem, A. H., Abu-Saied, M. A., & Youssef, A. M. (2021). Synthesis of environmentally benign antimicrobial dressing nanofibers based on polycaprolactone blended with gold nanoparticles and spearmint oil nanoemulsion. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 3447–3460. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.09.136>
- Fanoro, O. T., & Oluwafemi, O. S. (2020). Bactericidal antibacterial mechanism of plant synthesized silver, gold and bimetallic nanoparticles. In *Pharmaceutics* (Vol. 12, Issue 11, pp. 1–20). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12111044>
- Feng, G., Cheng, Y., Wang, S. Y., Borca-Tasciuc, D. A., Worobo, R. W., & Moraru, C. I. (2015). Bacterial attachment and biofilm formation on surfaces are reduced by small-diameter nanoscale pores: How small is small enough? *Npj Biofilms and Microbiomes*, 1. <https://doi.org/10.1038/npjbiofilms.2015.22>
- Hamdan, N., Yamin, A., Hamid, S. A., Khodir, W. K. W. A., & Guarino, V. (2021). Functionalized antimicrobial nanofibers: Design criteria and recent advances. In *Journal of Functional Biomaterials* (Vol. 12, Issue 4). MDPI. <https://doi.org/10.3390/jfb12040059>
- Hanna, S. K., Montoro Bustos, A. R., Peterson, A. W., Reipa, V., Scanlan, L. D., Hosbas Coskun, S., Cho, T. J., Johnson, M. E., Hackley, V. A., Nelson, B. C., Winchester, M. R., Elliott, J. T., & Petersen, E. J. (2018). Agglomeration of Escherichia coli with Positively Charged Nanoparticles Can Lead to Artifacts in a Standard Caenorhabditis elegans Toxicity Assay. *Environmental Science and Technology*, 52(10), 5968–5978. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b06099>
- Hasan, N., Cao, J., Lee, J., Hlaing, S. P., Oshi, M. A., Naeem, M., Ki, M. H., Lee, B. L., Jung, Y., & Yoo, J. W. (2019). Bacteria-targeted clindamycin loaded polymeric nanoparticles: Effect of surface charge on nanoparticle adhesion to MRSA, antibacterial activity, and wound healing. *Pharmaceutics*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics11050236>
- Hashmi, M., Ullah, S., & Kim, I. S. (2019). Copper oxide (CuO) loaded polyacrylonitrile (PAN) nanofiber membranes for antimicrobial breath mask applications. *Current Research in Biotechnology*, 1, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2019.07.001>
- Herrera, J. A., Grande, J. O., Migo, V. P., Arocena, R. E., Manalo, R. D., & Journal, P. (2021). Fabrication and Characterization of Electrospun Copper Oxide-Cellulose Acetate Microfiber Composite. In *Science* (Vol. 150, Issue 5).
- Horti, N. C., Kamatagi, M. D., Patil, N. R., Sannaikar, M. S., & Inamdar, S. R. (2020). Synthesis and optical properties of copper oxide nanoparticles: effect of solvents. *Journal of Nanophotonics*, 14(04). <https://doi.org/10.1117/1.jnp.14.046010>
- Javazmi, L., Khoddami, A., Mazrouei-Sebdani, Z., & Epaarachchi, J. (n.d.). *Effect of a Nanofibrous Structure on the Nanofiber Mat's Hydrophobicity*.
- Karbownik, I., Fiedot, M., Rac, O., Suchorska-Woźniak, P., Rybicki, T., & Teterycz, H. (2015). Effect of doping polyacrylonitrile fibers on their structural and mechanical properties. *Polymer*, 75, 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2015.08.015>
- Karuppanan, S. K., Ramalingam, R., Mohamed Khalith, S. B., Musthafa, S. A., Dowlath, M. J. H., Munuswamy-Ramanujam, G., & Arunachalam, K. D. (2021). Copper oxide nanoparticles infused electrospun polycaprolactone/gelatin scaffold as an antibacterial wound dressing. *Materials Letters*, 294. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2021.129787>
- Kausar, A. (2019). Polyacrylonitrile-based nanocomposite fibers: A review of current developments. In *Journal of Plastic Film and Sheeting* (Vol. 35, Issue 3, pp. 295–316). SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.1177/8756087919828151>

- Khattar, H. K., Juda, A. M., & Al-Saady, F. A. A. (2018). Preparation of Cu<sub>2</sub>O nanoparticles as a catalyst in photocatalyst activity using a simple electrodeposition route. *Nano Biomedicine and Engineering*, 10(4), 406–416. <https://doi.org/10.5101/nbe.v10i4.p406-416>
- Kooti, M., Kooti, M., & Matouri, L. (2010). Fabrication of Nanosized Cuprous Oxide Using Fehling's Solution. In *Transaction F: Nanotechnology* (Vol. 17, Issue 1). <https://www.researchgate.net/publication/259323045>
- Kurečič, M., & Smole, M. S. (2013). Elektropredenje: Postopek izdelave nanovlaken. In *Tekstilec* (Vol. 56, Issue 1, pp. 4–12). University of Ljubljana. <https://doi.org/10.14502/Tekstilec2013.56.4-12>
- Lal, S., Jana, U., Manna, P. K., Mohanta, G. P., Manavalan, R., & Pal, S. L. (n.d.). Nanoparticle: An overview of preparation and characterization. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2011(06), 228–234.
- Long, Y. Z., Yan, X., Wang, X. X., Zhang, J., & Yu, M. (2018). Electrospinning. In *Electrospinning: Nanofabrication and Applications* (pp. 21–52). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-51270-1.00002-9>
- Lou, L., Osemwegie, O., & Ramkumar, S. S. (2020). Functional Nanofibers and Their Applications. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 59(13), 5439–5455. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b07066>
- Lu, A., Gao, Y., Jin, T., Luo, X., Zeng, Q., & Shang, Z. (2020). Effects of surface roughness and texture on the bacterial adhesion on the bearing surface of bio-ceramic joint implants: An in vitro study. *Ceramics International*, 46(5), 6550–6559. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.11.139>
- Lüdecke, C., Roth, M., Yu, W., Horn, U., Bossert, J., & Jandt, K. D. (2016). Nanorough titanium surfaces reduce adhesion of Escherichia coli and Staphylococcus aureus via nano adhesion points. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 145, 617–625. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2016.05.049>
- Mahmoud Salehi, A. O., Heidari Keshel, S., Sefat, F., & Tayebi, L. (2021). Use of polycaprolactone in corneal tissue engineering: A review. In *Materials Today Communications* (Vol. 27). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102402>
- Mallakpour, S., & Nouruzi, N. (2017). Polycaprolactone/metal oxide nanocomposites. In *Biodegradable and Biocompatible Polymer Composites: Processing, Properties and Applications* (pp. 223–263). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100970-3.00008-0>
- Marković, D., Deeks, C., Nunney, T., Radovanović, Ž., Radoičić, M., Šaponjić, Z., & Radetić, M. (2018). Antibacterial activity of Cu-based nanoparticles synthesized on the cotton fabrics modified with polycarboxylic acids. *Carbohydrate Polymers*, 200, 173–182. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.001>
- McKeen, L. W. (2012). Environmentally Friendly Polymers. In *Permeability Properties of Plastics and Elastomers* (pp. 287–304). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-1-4377-3469-0.10013-x>
- Mortimer, C. J., & Burke, L. (2016). Microbial Interactions with Nanostructures and their Importance for the Development of Electrospun Nanofibrous Materials used in Regenerative Medicine and Filtration. *Journal of Microbial & Biochemical Technology*, 8(3). <https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000285>
- Murray, C. J., Ikuta, K. S., Sharara, F., Swetschinski, L., Robles Aguilar, G., Gray, A., Han, C., Bisignano, C., Rao, P., Wool, E., Johnson, S. C., Browne, A. J., Chipeta, M. G., Fell, F., Hackett, S., Haines-Woodhouse, G., Kashef Hamadani, B. H., Kumaran, E. A. P., McManigal, B., ... Naghavi, M. (2022). Global burden of bacterial antimicrobial

- resistance in 2019: a systematic analysis. *The Lancet*, 399(10325), 629–655. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02724-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02724-0)
- Muthukrishnaraj, A., Al-Zahrani, S. A., Otaibi, A. al, Kalaivani, S. S., Manikandan, A., Balasubramanian, N., Bilgrami, A. L., Riswan Ahamed, M. A., Khan, A., Asiri, A. M., & Balasubramanian, N. (2021). Enhanced photocatalytic activity of Cu<sub>2</sub>O/Cabbage/rgo nanocomposites under visible light irradiation. *Polymers*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/polym13111712>
- Muthuselvi, C., Pandiaraja, S. S., Ravikumar, B., Athimoolam, S., Srinivasan, N., & Krishnakum, R. V. (2018). FT-IR and FT-Raman Spectroscopic Analyses of Indeno Quinoxaline Derivative Crystal. *Asian Journal of Applied Sciences*, 11(2), 83–91. <https://doi.org/10.3923/ajaps.2018.83.91>
- Nabika, H., & Unoura, K. (2016). Interaction between nanoparticles and cell membrane. In *Surface Chemistry of Nanobiomaterials: Applications of Nanobiomaterials* (pp. 231–263). Elsevier Science Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-42861-3.00008-X>
- Pais, V., Navarro, M., Guise, C., Martins, R., & Figueiro, R. (2021). Hydrophobic performance of electrospun fibers functionalized with TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Textile Research Journal*. <https://doi.org/10.1177/00405175211010669>
- Pan, S. F., Ke, X. X., Wang, T. Y., Liu, Q., Zhong, L. bin, & Zheng, Y. M. (2019). Synthesis of Silver Nanoparticles Embedded Electrospun PAN Nanofiber Thin-Film Composite Forward Osmosis Membrane to Enhance Performance and Antimicrobial Activity. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 58(2), 984–993. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b04893>
- Panthi, G., Ranjit, R., Khadka, S., Gyawali, K. R., Kim, H. Y., & Park, M. (2020). Characterization and antibacterial activity of rice grain-shaped ZnS nanoparticles immobilized inside the polymer electrospun nanofibers. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 3(1), 8–15. <https://doi.org/10.1007/s42114-020-00141-9>
- Parra-Ortiz, E., & Malmsten, M. (2022). Photocatalytic nanoparticles – From membrane interactions to antimicrobial and antiviral effects. *Advances in Colloid and Interface Science*, 299. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102526>
- Pottathara, Y. B., Grohens, Y., Kokol, V., Kalarikkal, N., & Thomas, S. (2019). Synthesis and processing of emerging two-dimensional nanomaterials. In *Nanomaterials Synthesis: Design, Fabrication and Applications* (pp. 1–25). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815751-0.00001-8>
- Ramalingam, M., & Ramakrishna, S. (2017). Introduction to nanofiber composites. In *Nanofiber Composites for Biomedical Applications* (pp. 3–29). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100173-8.00001-6>
- Roodbar Shojaei, T., Hajalilou, A., Tabatabaei, M., Mobli, H., & Aghbashlo, M. (2019). Characterization and Evaluation of Nanofiber Materials. In *Handbook of Nanofibers* (pp. 491–522). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-53655-2\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-53655-2_15)
- Sarioglu, O. F., Celebioglu, A., Tekinay, T., & Uyar, T. (2017). Evaluation of fiber diameter and morphology differences for electrospun fibers on bacterial immobilization and bioremediation performance. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 120, 66–70. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.02.010>
- Sarker, A., Tran, N., Rifai, A., Brandt, M., Tran, P. A., Leary, M., Fox, K., & Williams, R. (2019). Rational design of additively manufactured Ti6Al4V implants to control Staphylococcus aureus biofilm formation. *Materialia*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2019.100250>



- Sasidharan, S., Raj, S., Sonawane, S., Sonawane, S., Pinjari, D., Pandit, A. B., & Saudagar, P. (2019). Nanomaterial synthesis: Chemical and biological route and applications. In *Nanomaterials Synthesis: Design, Fabrication and Applications* (pp. 27–51). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815751-0.00002-X>
- Shaikh, S., Nazam, N., Rizvi, S. M. D., Ahmad, K., Baig, M. H., Lee, E. J., & Choi, I. (2019). Mechanistic insights into the antimicrobial actions of metallic nanoparticles and their implications for multidrug resistance. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 20, Issue 10). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijms20102468>
- Sriram, A. et. al. (2021). *The State of the World's Antibiotics 2021 A Global Analysis of Antimicrobial Resistance and Its Drivers*. <https://resistancemap.cddep.org/>.
- Tang, Z. S., Bolong, N., Saad, I., & Ayog, J. L. (n.d.). *The Morphology of Electrospun Titanium Dioxide Nanofibers and Its Influencing Factors*. <https://doi.org/10.1051/C>
- Terada, A., Okuyama, K., Nishikawa, M., Tsuneda, S., & Hosomi, M. (2012). The effect of surface charge property on Escherichia coli initial adhesion and subsequent biofilm formation. *Biotechnology and Bioengineering*, 109(7), 1745–1754. <https://doi.org/10.1002/bit.24429>
- Teymourinia, H., Salavati-Niasari, M., & Amiri, O. (2019). Simple synthesis of Cu<sub>2</sub>O/GQDs nanocomposite with different morphologies fabricated by tuning the synthesis parameters as novel antibacterial material. *Composites Part B: Engineering*, 172, 785–794. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.05.047>
- Tsega, M., & Dejene, F. B. (2019). Morphological, thermal and optical properties of TiO<sub>2</sub> nanoparticles: The effect of titania precursor. *Materials Research Express*, 6(6). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab0dd3>
- Wang, L., Hu, C., & Shao, L. (2017). The antimicrobial activity of nanoparticles: Present situation and prospects for the future. In *International Journal of Nanomedicine* (Vol. 12, pp. 1227–1249). Dove Medical Press Ltd. <https://doi.org/10.2147/IJN.S121956>
- Wu, J., Pernin, A., Wang, Y., Wang, H., Yao, J., & Gao, W. (2020). Electrospun TiO<sub>2</sub> embedded nanofibers for photocatalytic applications. *International Journal of Modern Physics B*, 34(1–3). <https://doi.org/10.1142/S0217979220400159>
- Xiong, L., Yu, H., Nie, C., Xiao, Y., Zeng, Q., Wang, G., Wang, B., Lv, H., Li, Q., & Chen, S. (2017). Size-controlled synthesis of Cu<sub>2</sub>O nanoparticles: Size effect on antibacterial activity and application as a photocatalyst for highly efficient H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> evolution. *RSC Advances*, 7(82), 51822–51830. <https://doi.org/10.1039/c7ra10605j>
- Yew, C. H. T., Azari, P., Choi, J. R., Muhamad, F., & Pinguan-Murphy, B. (2018). Electrospun polycaprolactone nanofibers as a reaction membrane for lateral flow assay. *Polymers*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/polym10121387>
- Yin, J.-Y., Boaretti, C., Lorenzetti, A., Martucci, A., Roso, M., & Modesti, M. (2022). *Effects of Solvent and Electrospinning Parameters on the Morphology and Piezoelectric Properties of PVDF Nanofibrous Membrane*. <https://doi.org/10.3390/nano>

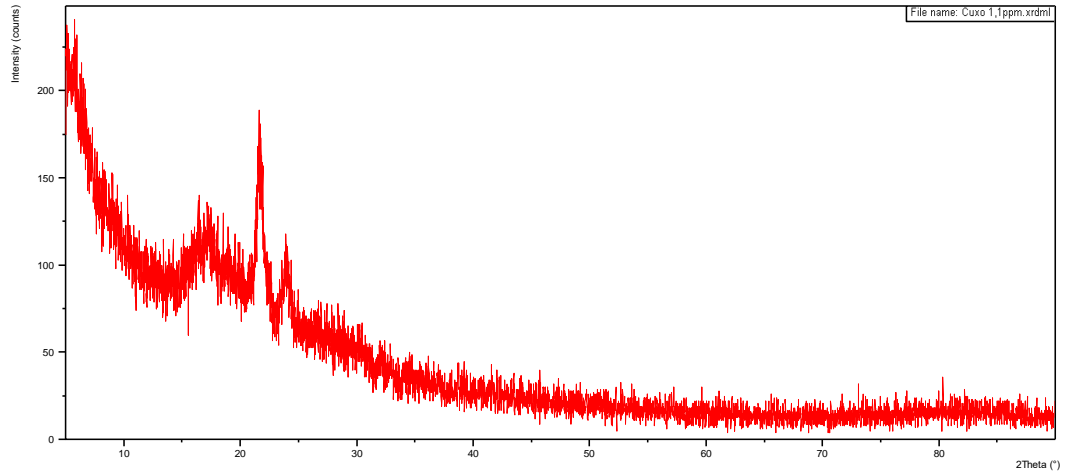
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



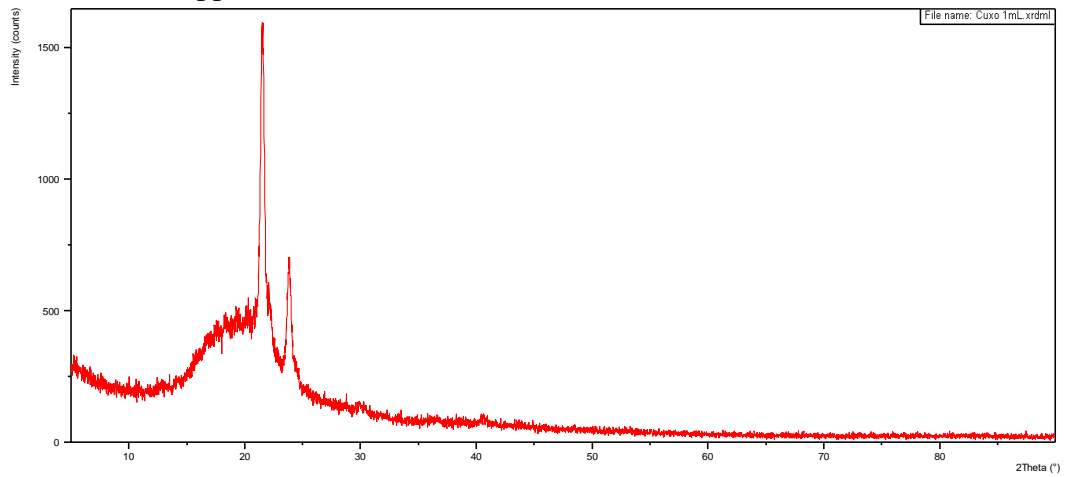
# LAMPIRAN

## Lampiran 1: Pengujian XRD

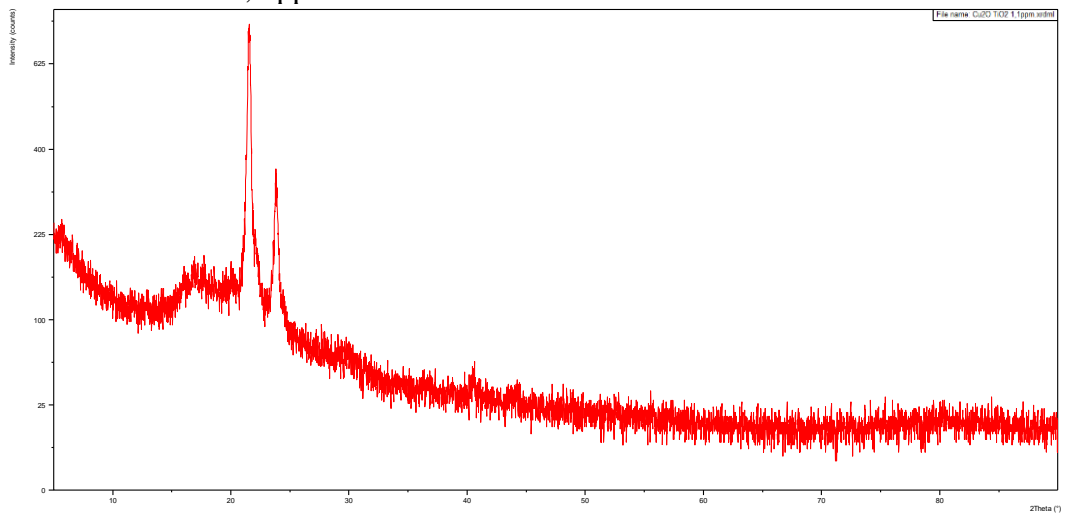
### 1. NF-Cu<sub>2</sub>O 1,1 ppm



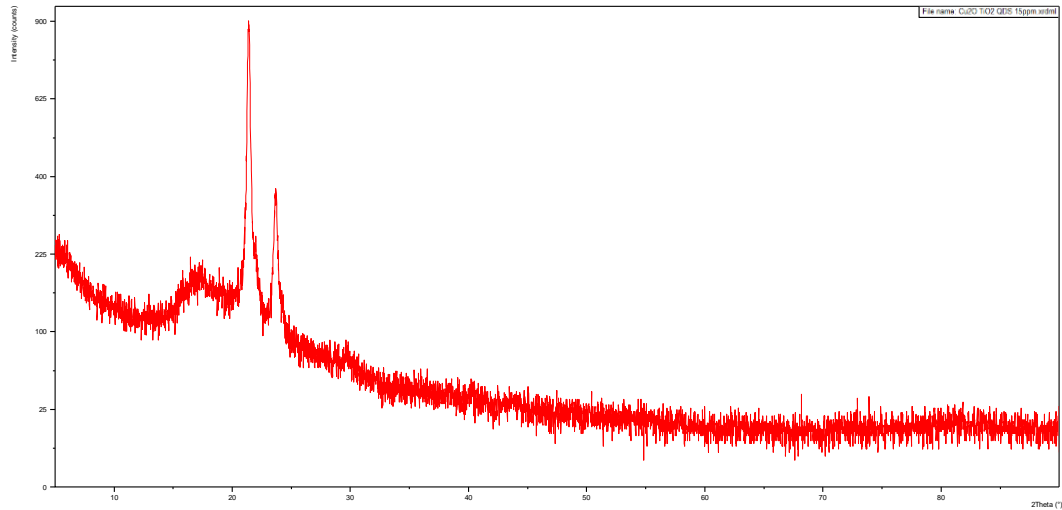
### 2. NF-Cu<sub>2</sub>O 15 ppm



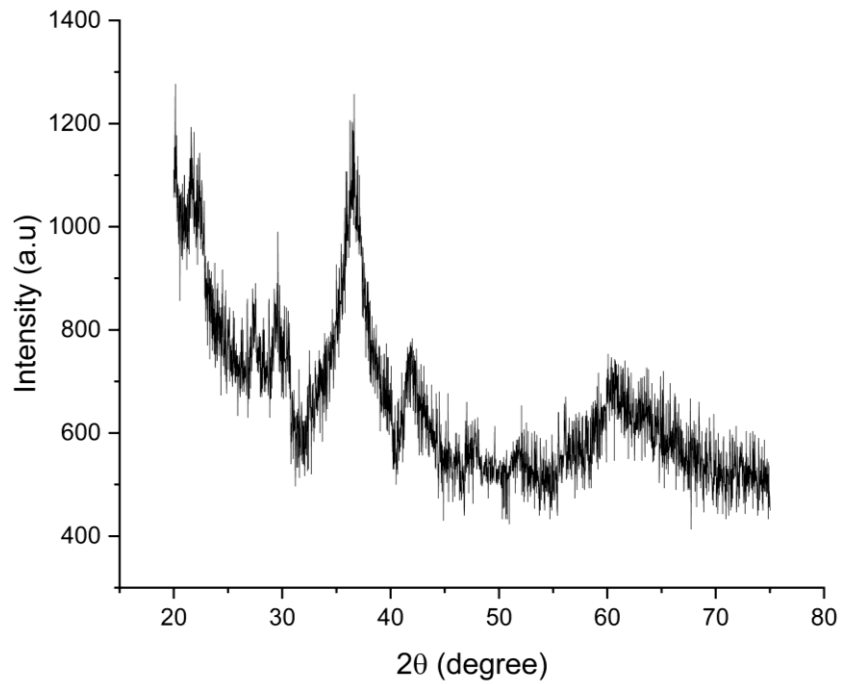
### 3. NF-Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 1,1 ppm



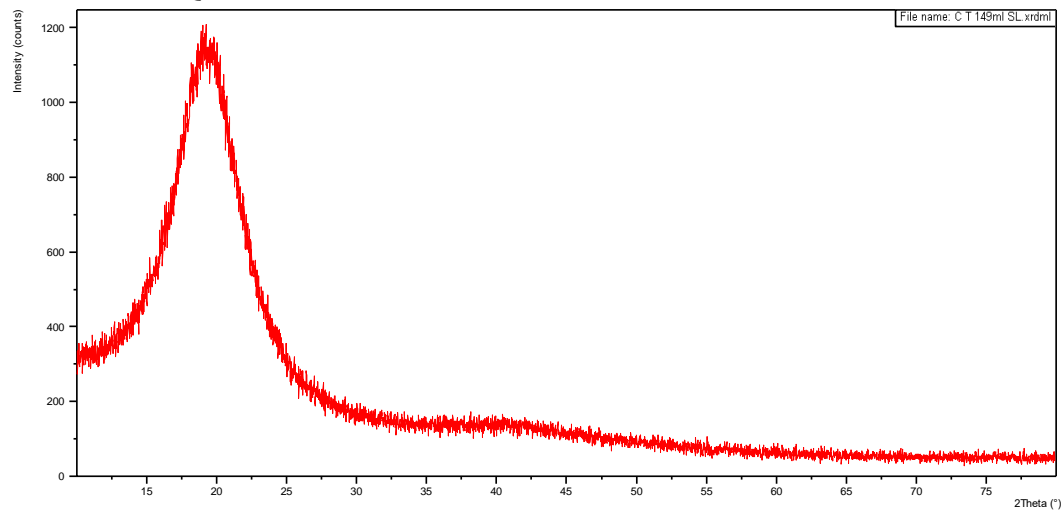
### 4. NF-Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 15 ppm



5. Cu<sub>2</sub>O QDs

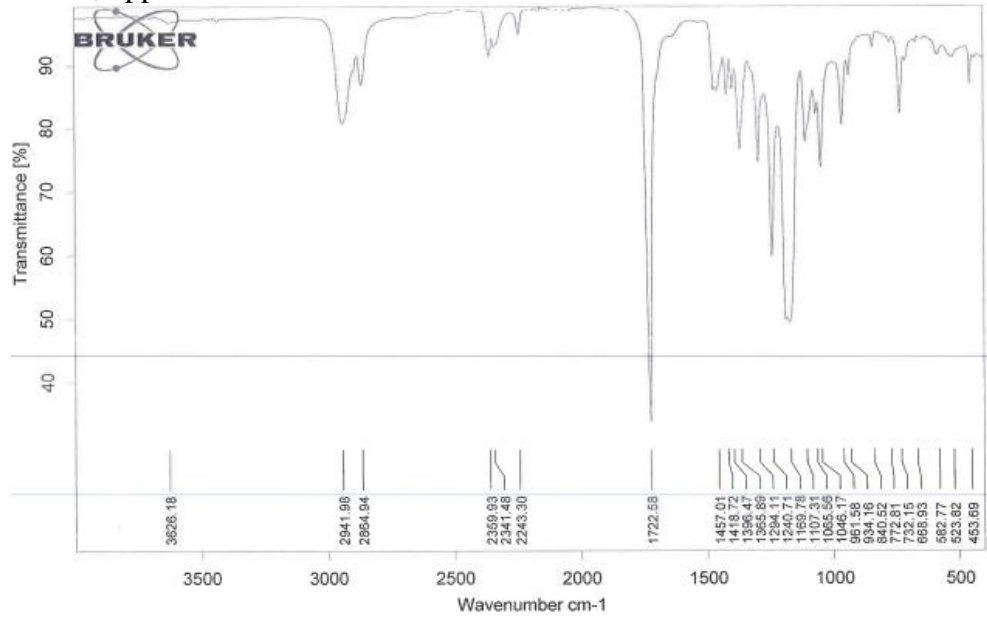


6. Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> QDs

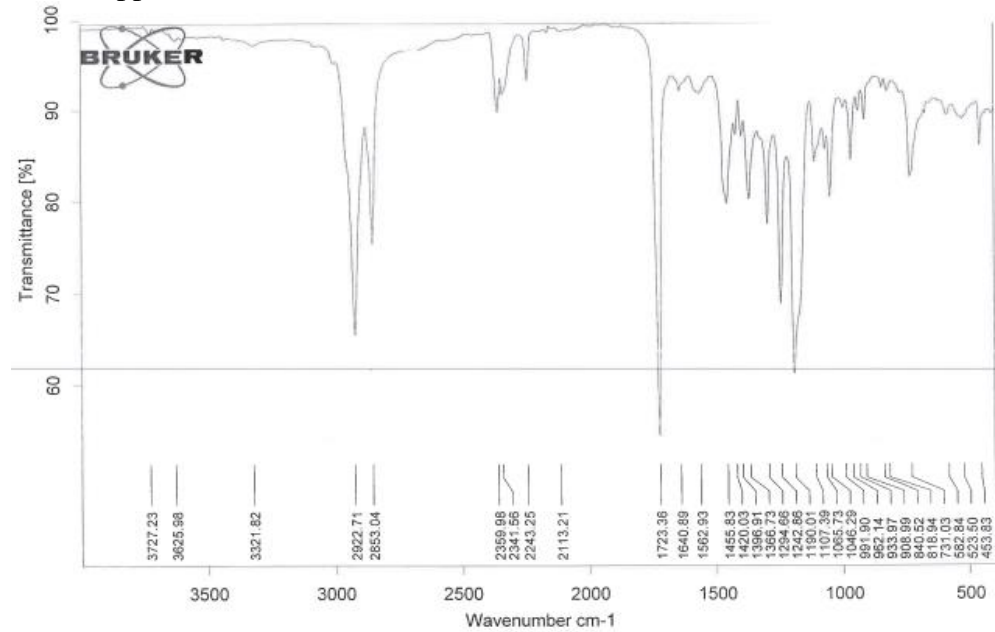


## Lampiran 2: Pengujian FTIR

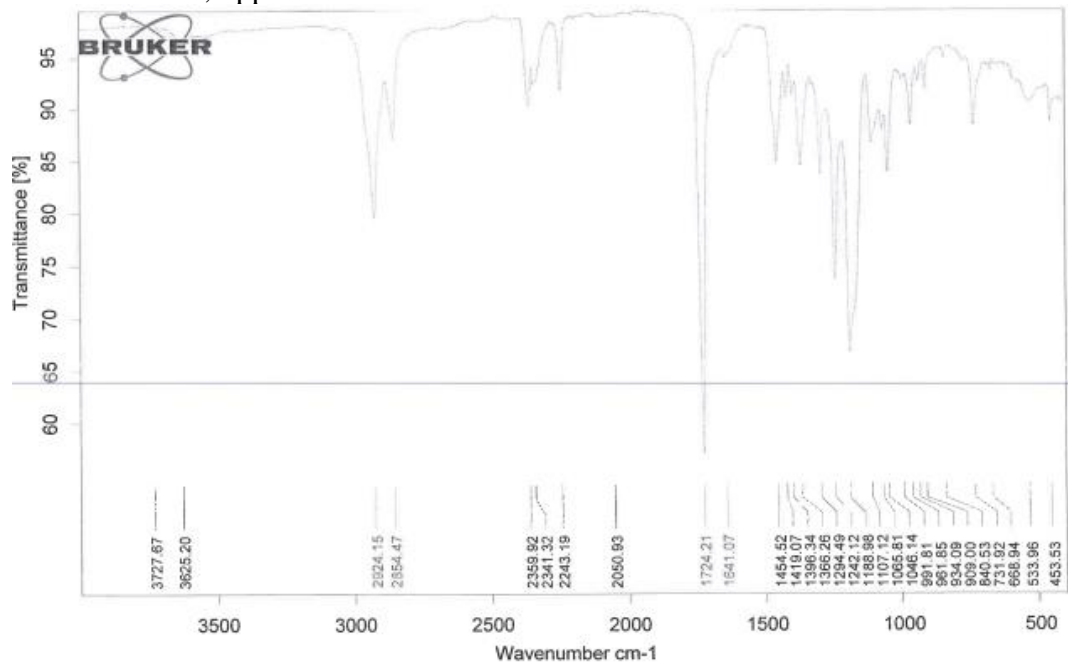
### 1. NF-Cu<sub>2</sub>O 1,1 ppm



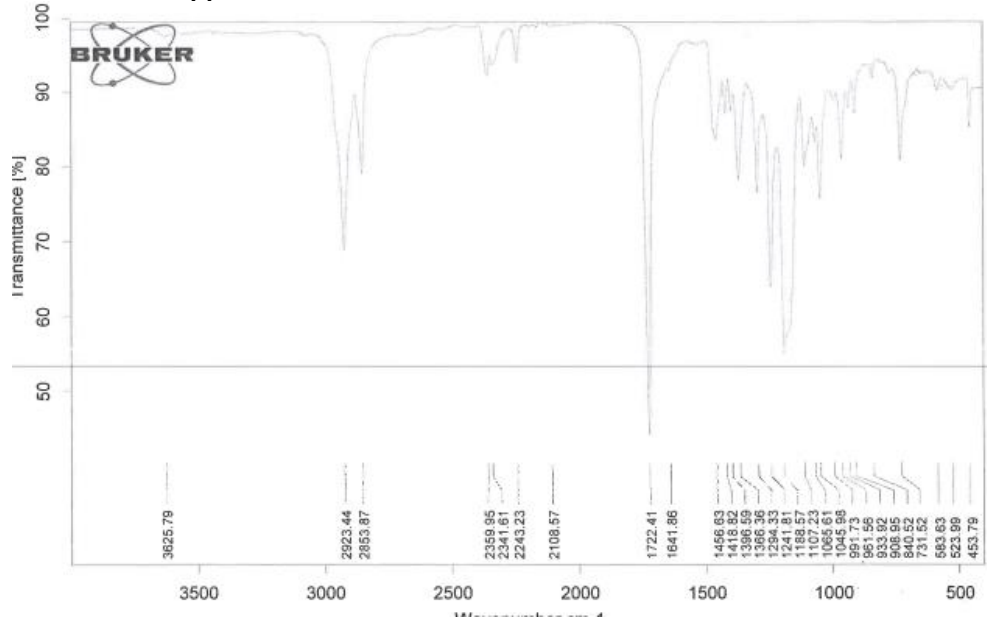
### 2. NF-Cu<sub>2</sub>O 15 ppm



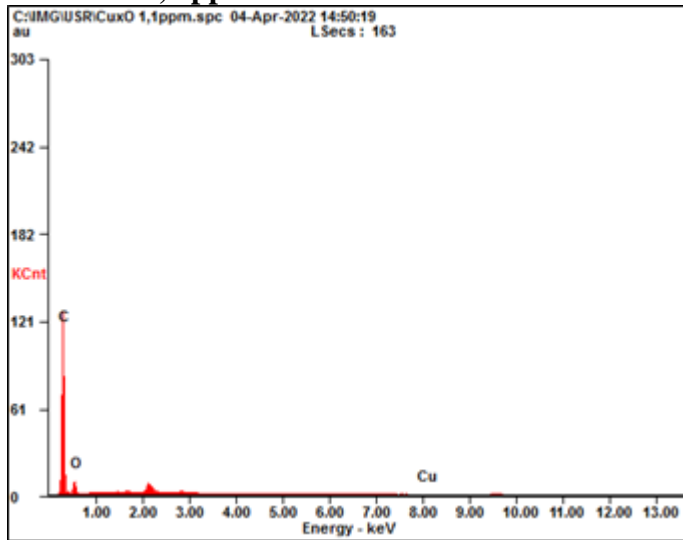
3. NF-Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 1,1 ppm



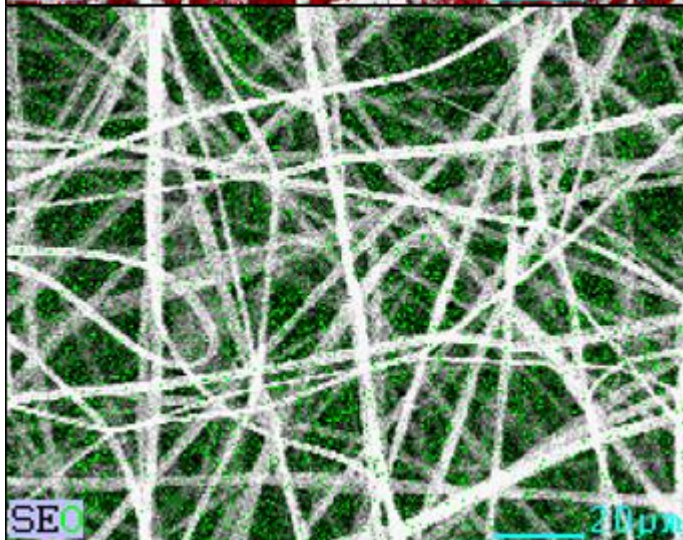
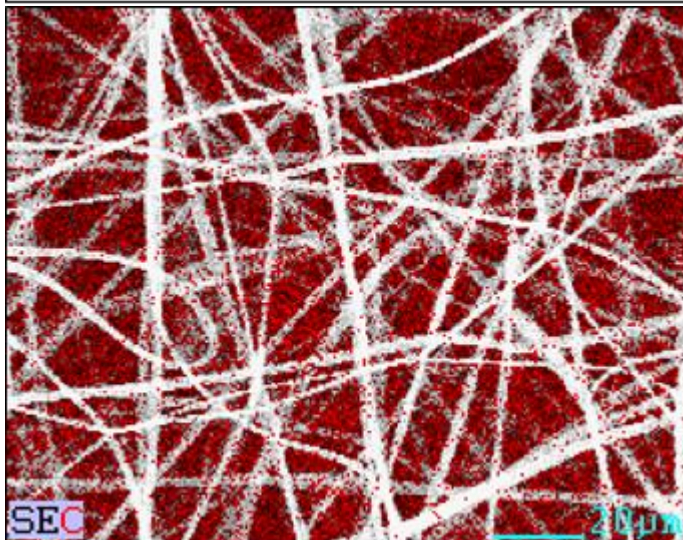
4. NF-Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 15 ppm



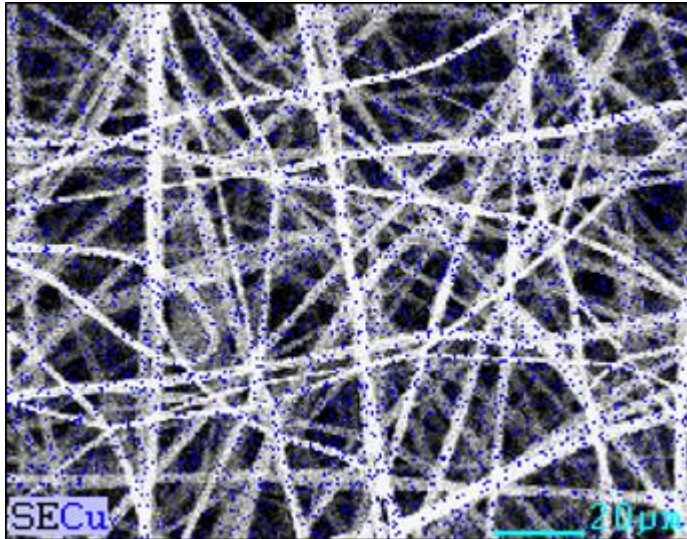
**Lampiran 3: Pegujian EDX-Mapping**  
**1. NF Cu<sub>2</sub>O 1,1 ppm**



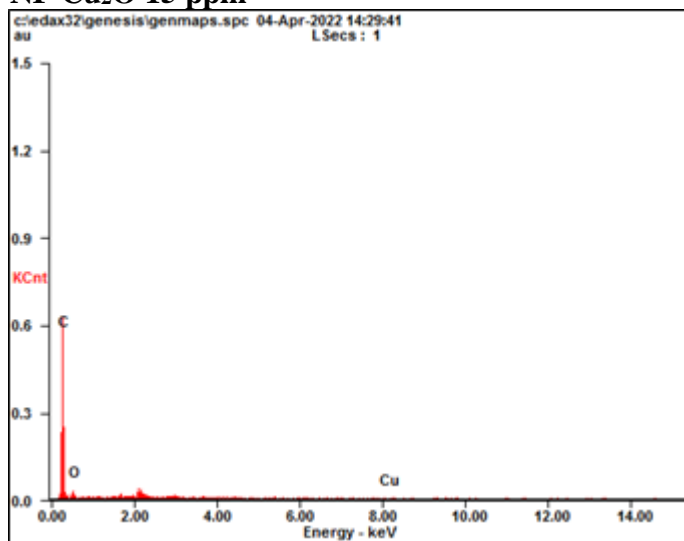
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	73.46	78.76
<i>OK</i>	26.33	21.19
<i>CuK</i>	00.21	00.04
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



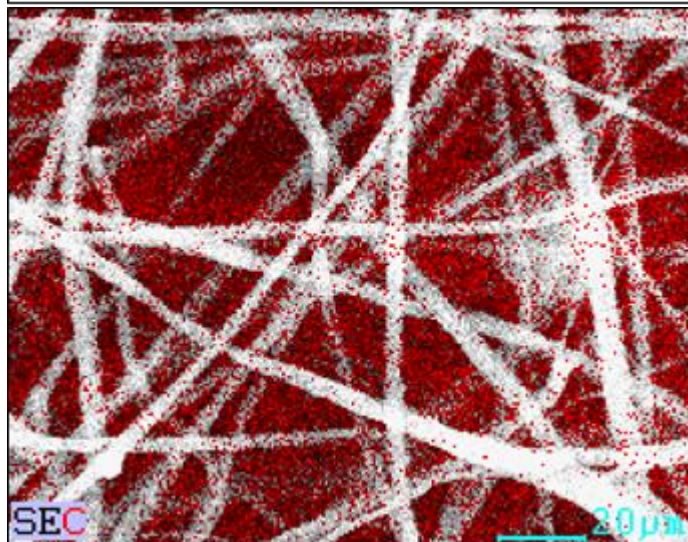


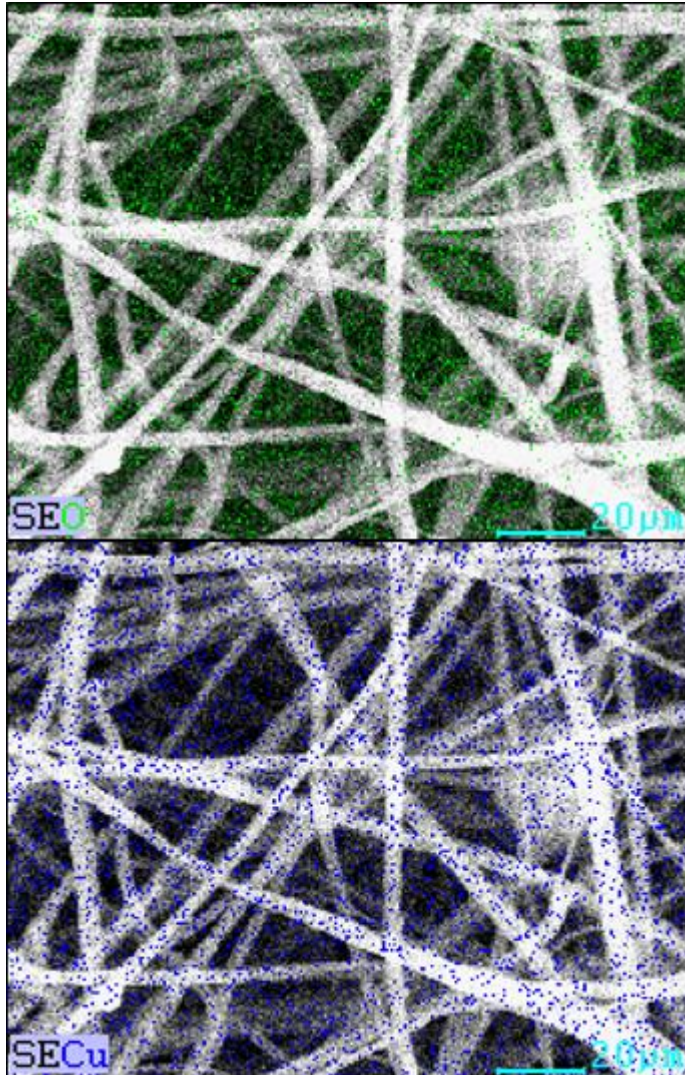


2. NF Cu<sub>2</sub>O 15 ppm

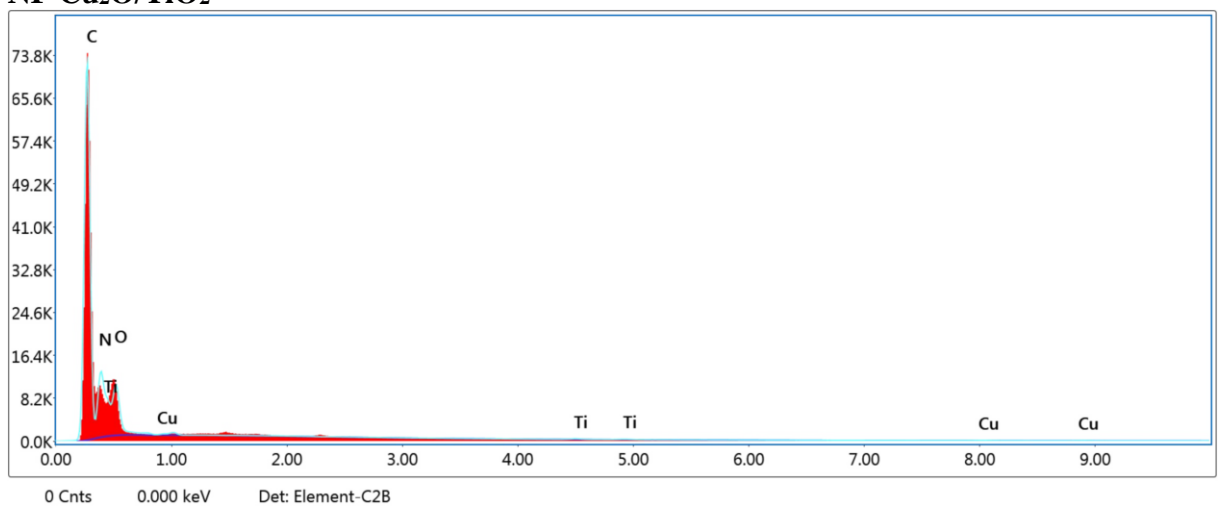


Element	Wt%	At%
CK	78.88	83.70
OK	20.25	16.13
CuK	00.87	00.17
Matrix	Correction	ZAF





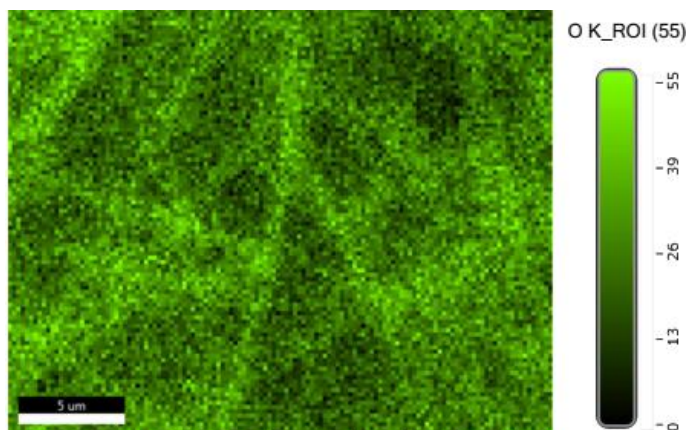
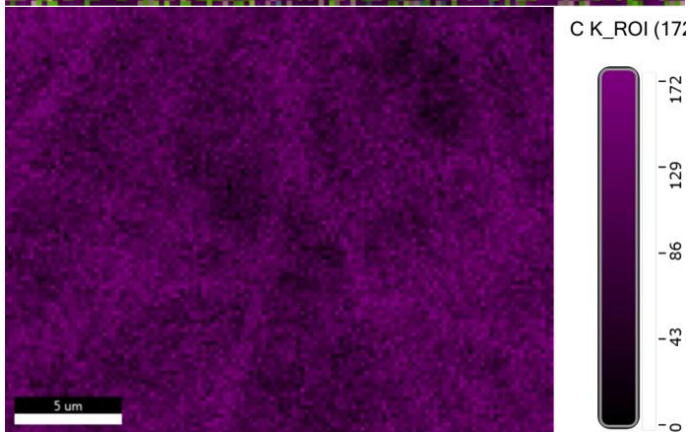
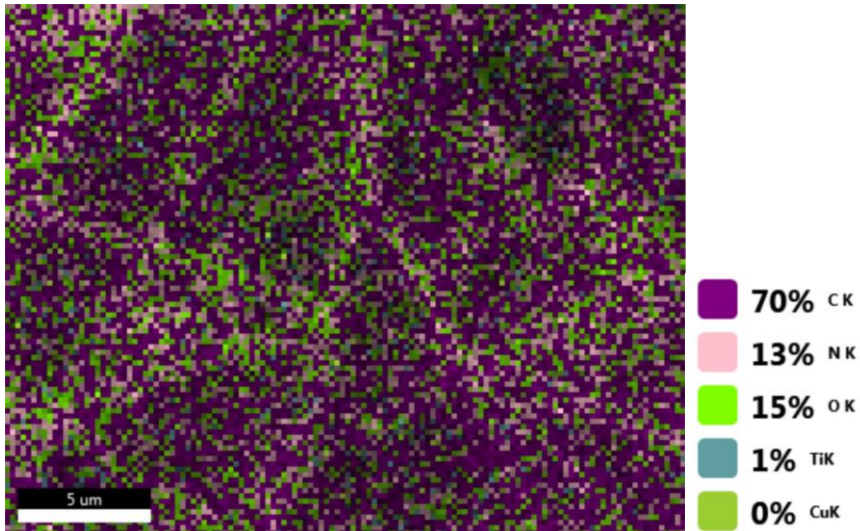
### 3. NF Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>



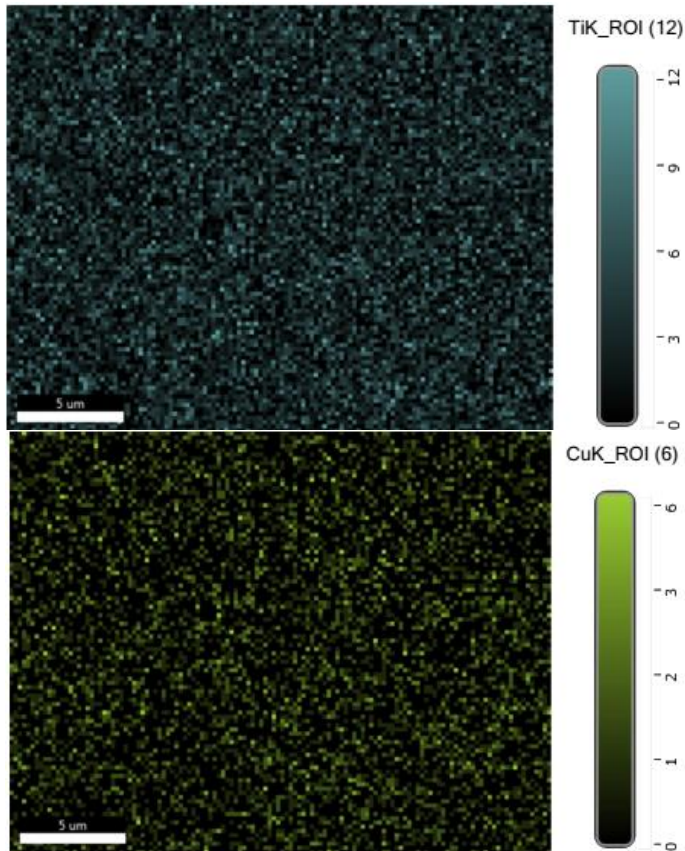


Smart Quant Results

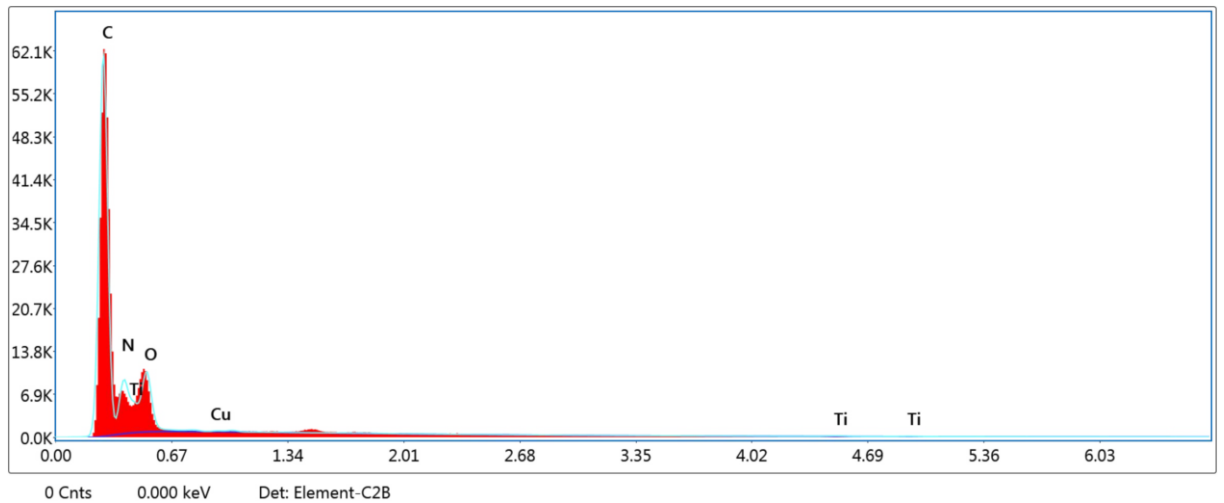
Element	Weight %	Atomic %	Error %
C K	42.73	47.96	4.33
N K	33.9	32.62	10.51
O K	22.91	19.31	11.54
TiK	0.19	0.05	19.6
CuK	0.26	0.06	33.52





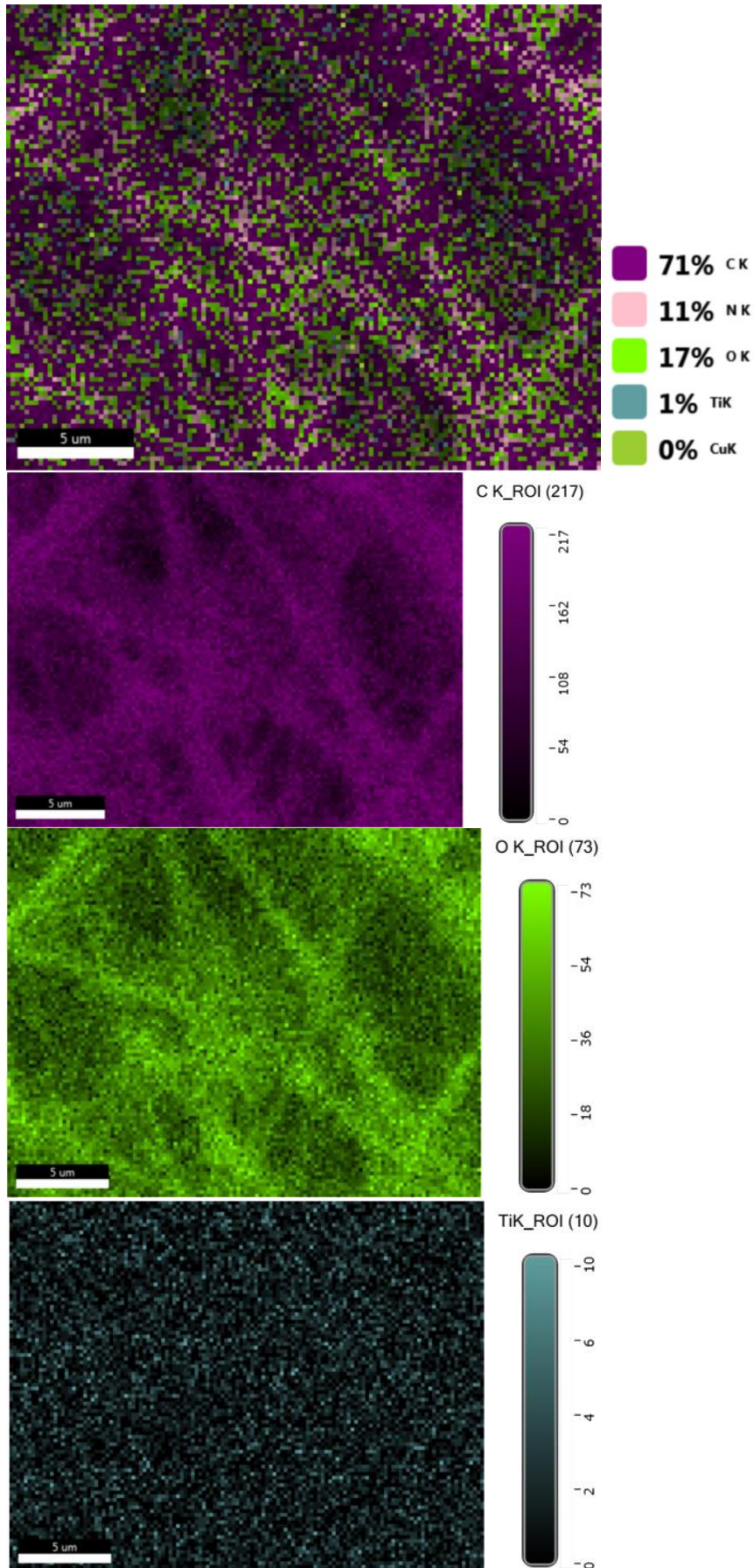


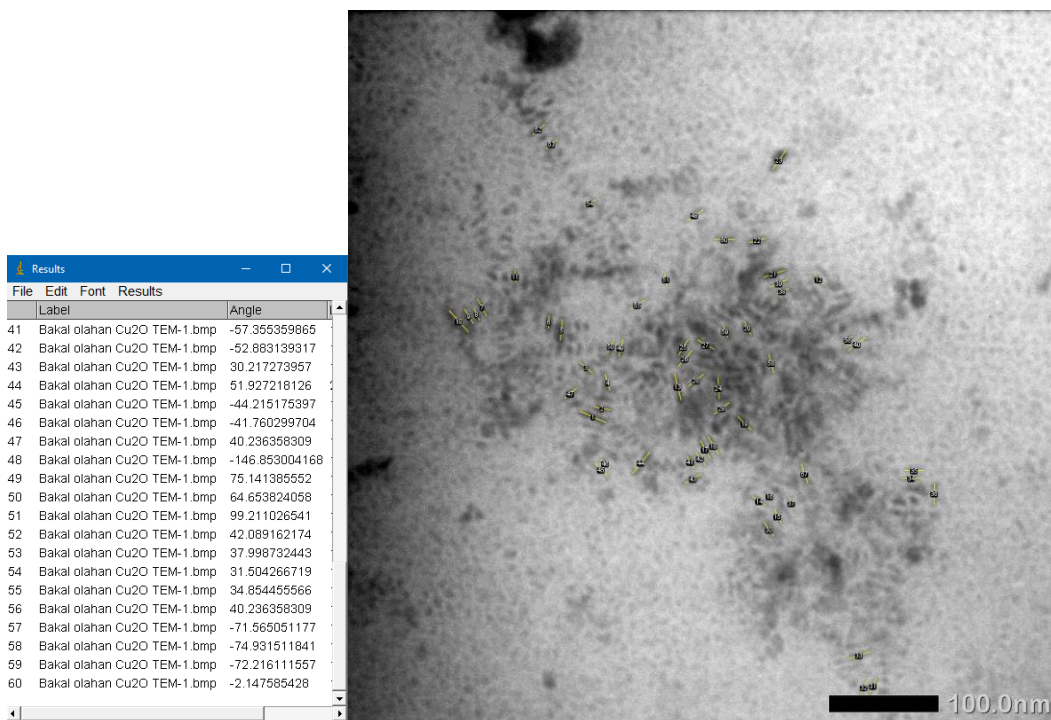
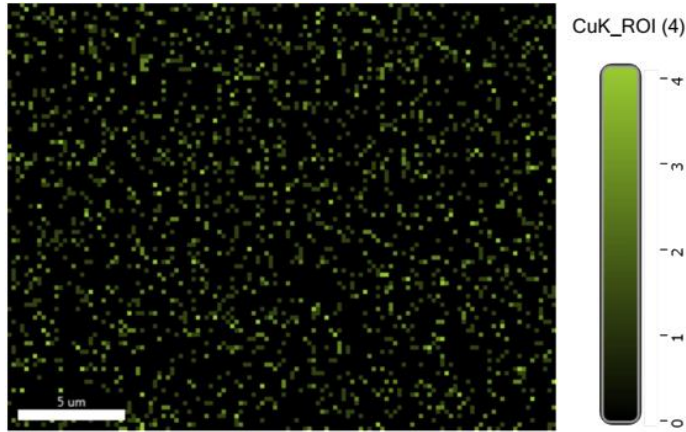
#### 4. NF-Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>



#### Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Error %
C K	48.22	53.84	3.89
N K	27.47	26.3	10.45
O K	23.4	19.62	10.44
CuL	0.22	0.05	15.5
TiK	0.7	0.2	26.38





**Lampiran 4 : Pengujian Antibakteri**

1. NF Control

Time	Treatments (CFU/mL)		Time	Treatments (CFU/mL)	
	Dark	Light		Dark	Light
0 sec	$126 \times 10^4 \pm 18.7$	$129 \times 10^4 \pm 16.1$	0 sec	$126 \times 10^4 \pm 18.7$	$129 \times 10^4 \pm 16.1$
30 sec	$137 \times 10^4 \pm 11.2$	$133 \times 10^4 \pm 18.6$	30 sec	$137 \times 10^4 \pm 11.2$	$133 \times 10^4 \pm 18.6$
1 min	$156 \times 10^4 \pm 19.6$	$167 \times 10^4 \pm 16.9$	1 min	$156 \times 10^4 \pm 19.6$	$167 \times 10^4 \pm 16.9$
1 hr	$277 \times 10^4 \pm 12.6$	$284 \times 10^4 \pm 17.6$	1 hr	$277 \times 10^4 \pm 12.6$	$284 \times 10^4 \pm 17.6$

E. coli

S. Aureus

2. Konsentrasi 1,1 ppm

E. Coli

Time	Treatments (CFU/mL)				
	Control	Cu <sub>2</sub> O	Cu <sub>2</sub> O/NF	Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub>	Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> /NF
0 sec	$129 \times 10^4 \pm 13.3$	$126 \times 10^4 \pm 17.4$	$120 \times 10^4 \pm 15.0$	$128 \times 10^4 \pm 11.4$	$121 \times 10^4 \pm 14.9$
30 sec	$129 \times 10^4 \pm 13.3$	$120 \times 10^4 \pm 12.3$	$123 \times 10^4 \pm 10.2$	$122 \times 10^4 \pm 12.6$	$122 \times 10^4 \pm 9.1$
1 min	$120 \times 10^4 \pm 6.6$	$113 \times 10^4 \pm 8.3$	$116 \times 10^4 \pm 0.2$	$113 \times 10^4 \pm 8.5$	$115 \times 10^4 \pm 10.4$
1 hr	$104 \times 10^4 \pm 6.2$	$107 \times 10^4 \pm 8.3$	$110 \times 10^4 \pm 6.6$	$109 \times 10^4 \pm 7.9$	$111 \times 10^4 \pm 10.2$

S. aureus

Time	Treatments (CFU/mL)				
	Control	Cu <sub>2</sub> O	Cu <sub>2</sub> O/NF	Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub>	Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> /NF
0 sec	$129 \times 10^4 \pm 13.3$	$129 \times 10^4 \pm 16.4$	$125 \times 10^4 \pm 15.9$	$128 \times 10^4 \pm 17.5$	$120 \times 10^4 \pm 16.3$
30 sec	$173 \times 10^4 \pm 24.0$	$124 \times 10^4 \pm 20.5$	$120 \times 10^4 \pm 13.6$	$123 \times 10^4 \pm 27.3$	$119 \times 10^4 \pm 25.1$
1 min	$293 \times 10^4 \pm 35.2$	$119 \times 10^4 \pm 18.8$	$118 \times 10^4 \pm 20.5$	$112 \times 10^4 \pm 21.1$	$113 \times 10^4 \pm 32.6$
1 hr	$346 \times 10^4 \pm 29.0$	$102 \times 10^4 \pm 16.2$	$103 \times 10^4 \pm 24.1$	$101 \times 10^4 \pm 15.4$	$103 \times 10^4 \pm 15.8$



3. Konsentrasi 15 ppm  
E. Coli

Time	Treatments (CFU/mL)				
	Control	Cu <sub>2</sub> O	Cu <sub>2</sub> O/NF	Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub>	Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> /NF
0 sec	129 x 10 <sup>4</sup> ±8.7	128 x 10 <sup>4</sup> ± 17.1	125 x 10 <sup>4</sup> ± 15.7	127 x 10 <sup>4</sup> ± 10.4	123 x 10 <sup>4</sup> ±11.6
30 sec	126 x 10 <sup>4</sup> ±13.3	16 x 10 <sup>4</sup> ± 13.3	0 x 10 <sup>4</sup> ±0	0 x 10 <sup>4</sup> ±0	0 x 10 <sup>4</sup> ±0
1 min	128 x 10 <sup>4</sup> ±6.6	0 x 10 <sup>4</sup> ±0	0 x 10 <sup>4</sup> ±0	0 x 10 <sup>4</sup> ±0	0 x 10 <sup>4</sup> ±0
1 hr	126 x 10 <sup>4</sup> ±6.6	0 x 10 <sup>4</sup> ±0	0 x 10 <sup>4</sup> ±0	0 x 10 <sup>4</sup> ±0	0 x 10 <sup>4</sup> ±0

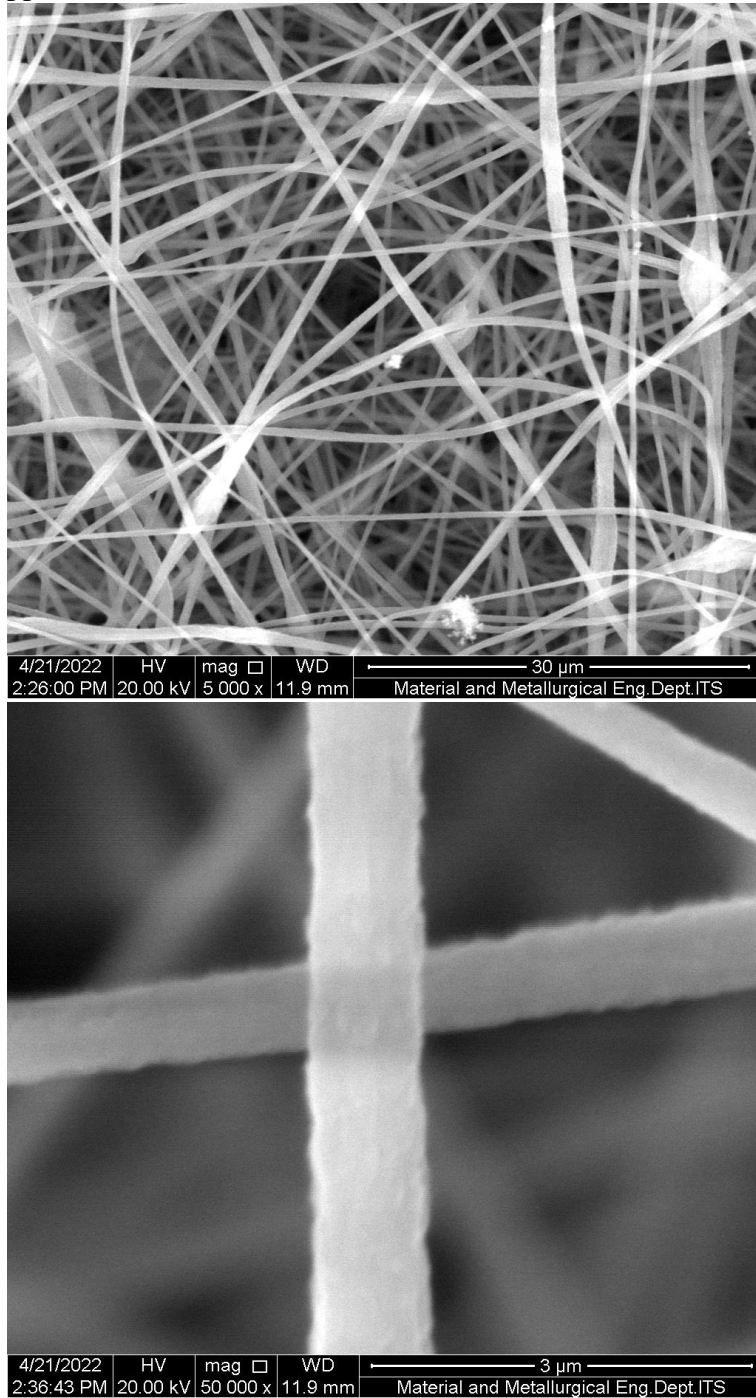
S. Aureus

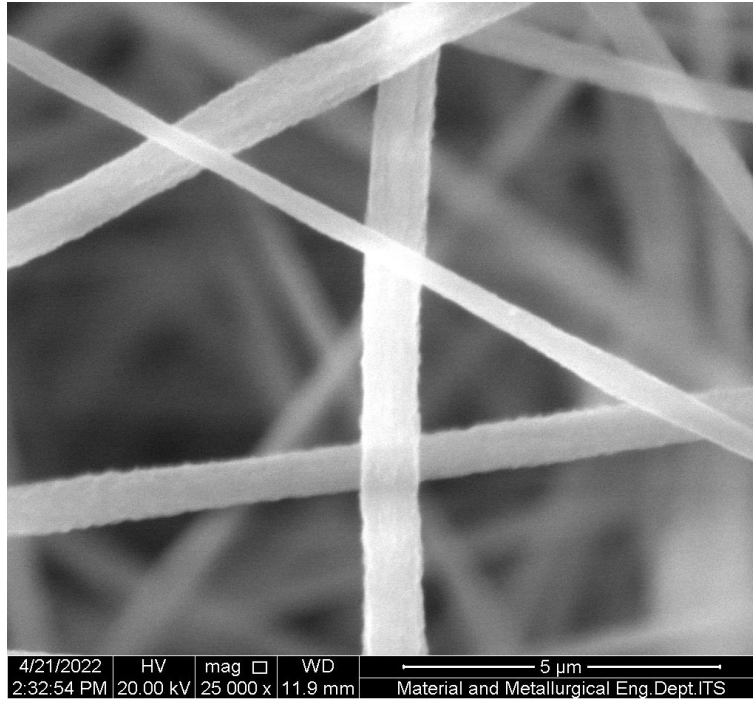
Time	Treatments (CFU/mL)				
	Control	Cu <sub>2</sub> O	Cu <sub>2</sub> O/NF	Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub>	Cu <sub>2</sub> O/TiO <sub>2</sub> /NF
0 sec	173 x 10 <sup>4</sup> ±24.0	174 x 10 <sup>4</sup> ± 15.9	169 x 10 <sup>4</sup> ± 18.7	171 x 10 <sup>4</sup> ± 25.5	162 x 10 <sup>4</sup> ±23.9
30 sec	173 x 10 <sup>4</sup> ±24.0	23 x 10 <sup>4</sup> ± 11.5	0 x 10 <sup>4</sup> ±0	0 x 10 <sup>4</sup> ±0	0 x 10 <sup>4</sup> ±0
1 min	293 x 10 <sup>4</sup> ±35.2	0 x 10 <sup>4</sup> ±0	0 x 10 <sup>4</sup> ±0	0 x 10 <sup>4</sup> ±0	0 x 10 <sup>4</sup> ±0
1 hr	346 x 10 <sup>4</sup> ±29.0	0 x 10 <sup>4</sup> ±0	0 x 10 <sup>4</sup> ±0	0 x 10 <sup>4</sup> ±0	0 x 10 <sup>4</sup> ±0

---

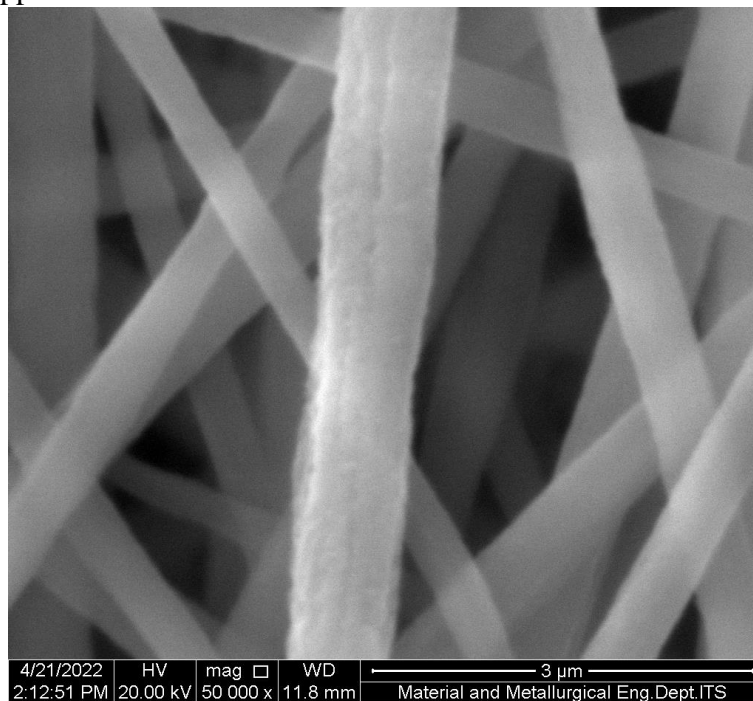
**Lampiran 5 : Pengujian SEM**

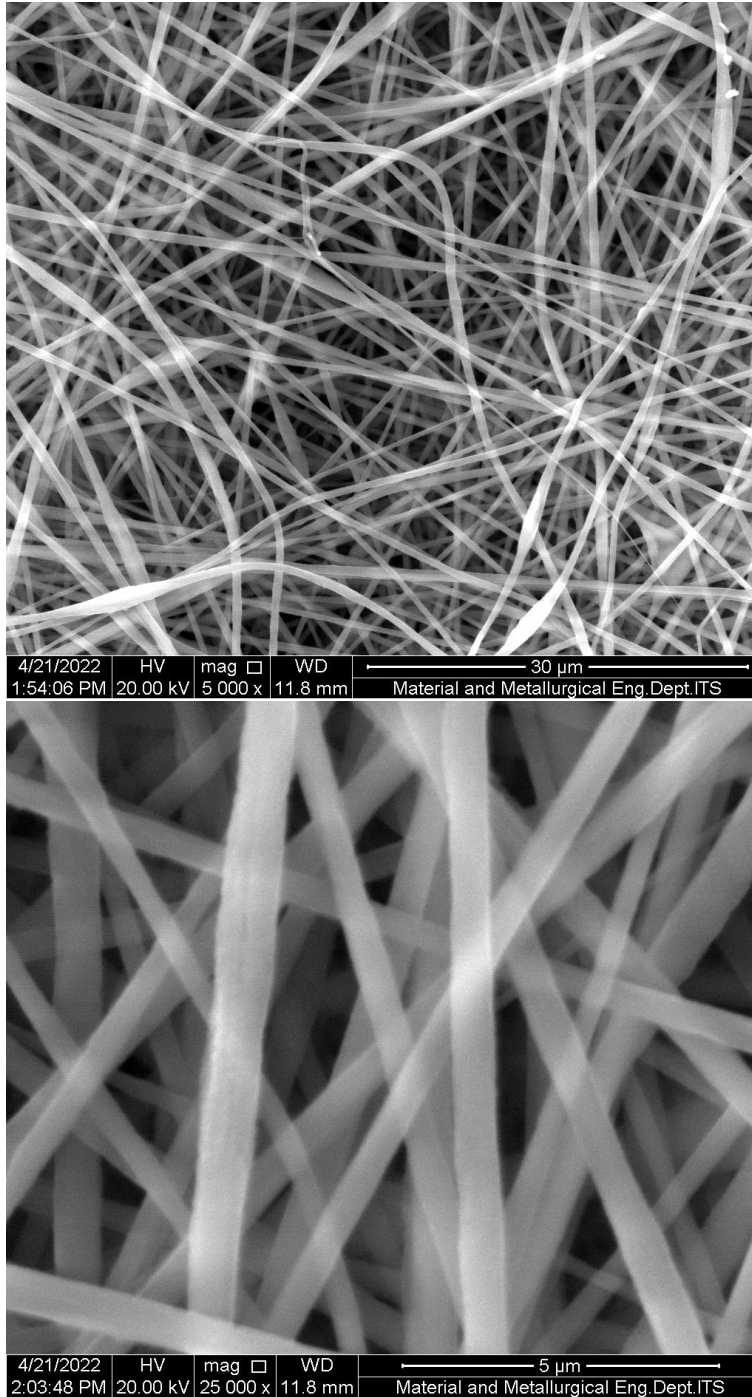
1. NF-Cu<sub>2</sub>O 1,1 ppm





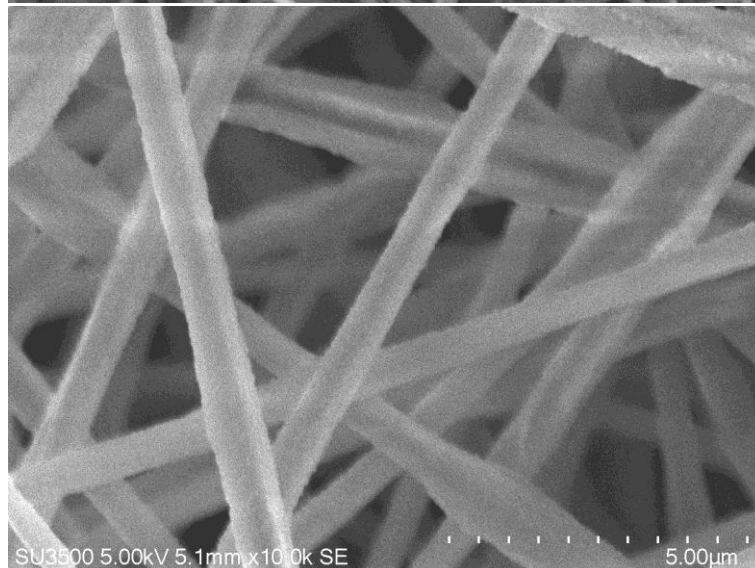
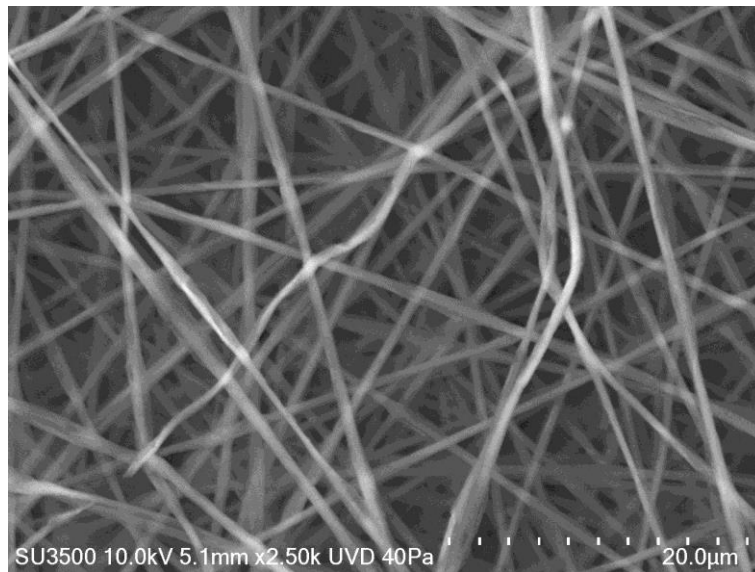
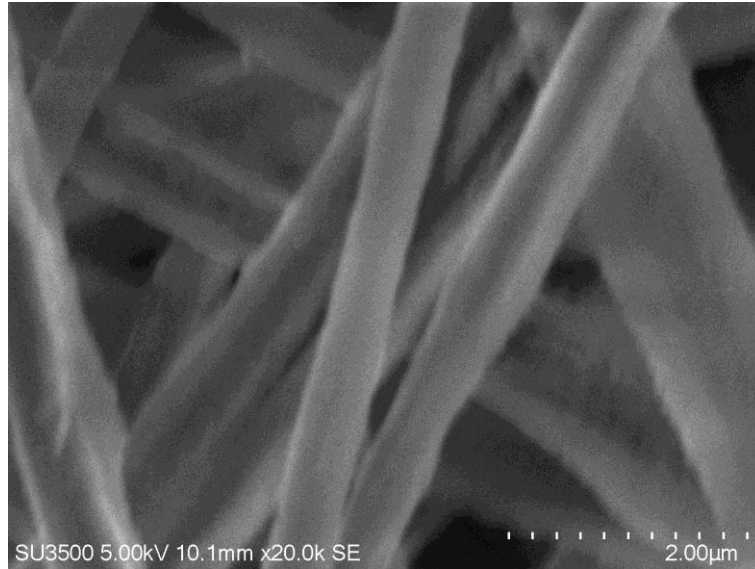
2. NF-Cu<sub>2</sub>O 15 ppm



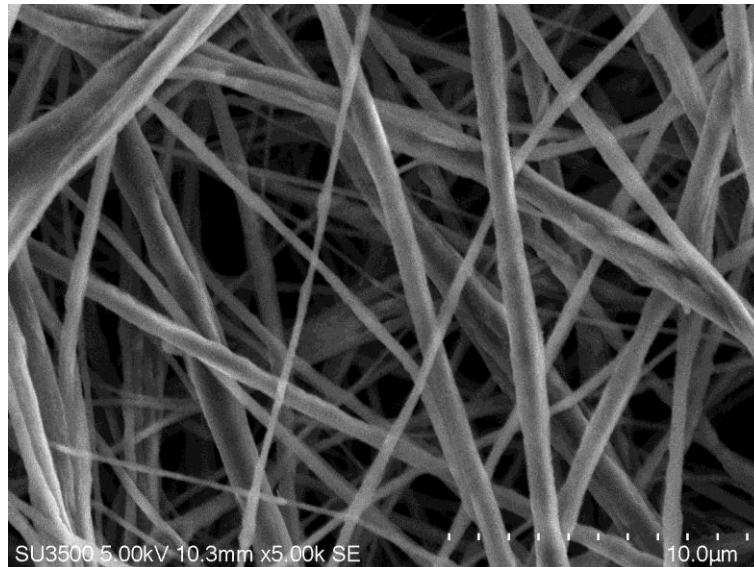
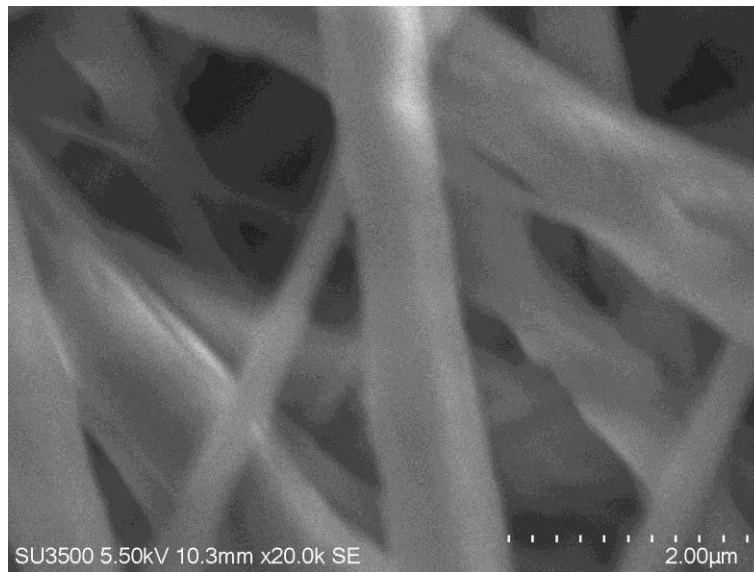
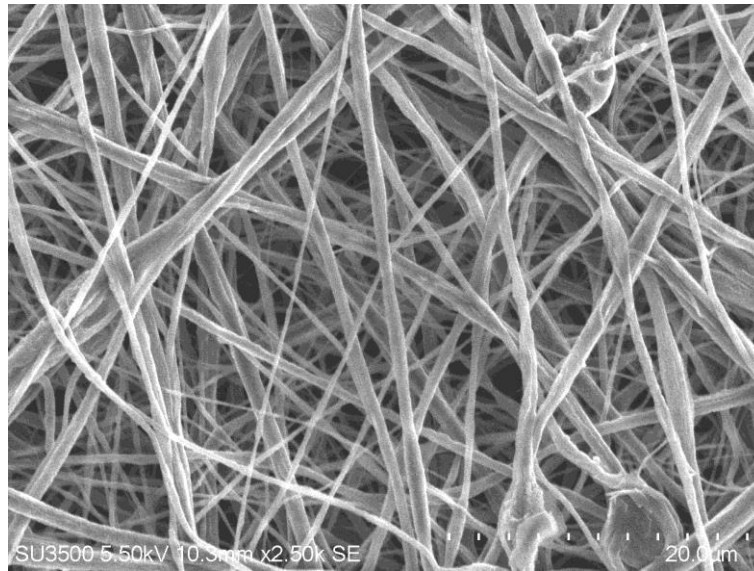




3. NF-Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 1,1 ppm

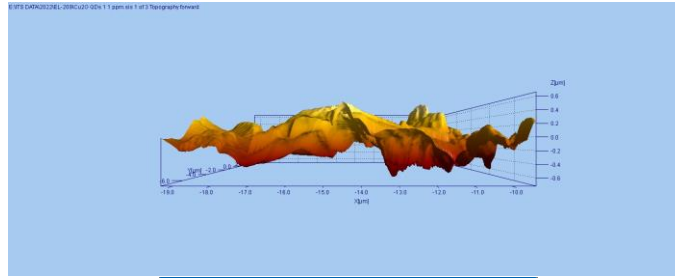


4. NF-Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 15 ppm



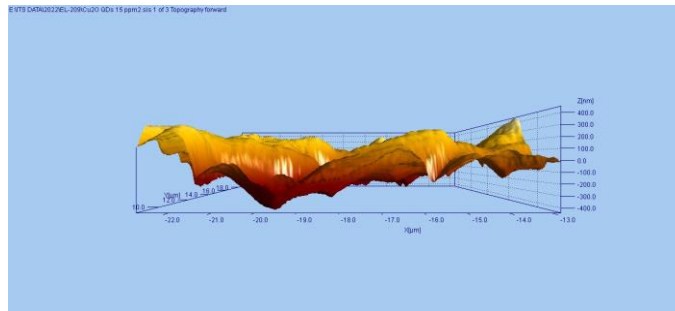
## Lampiran 6 : Pengujian Kekasaran Permukaan

### 1. NF-Cu<sub>2</sub>O 1,1 ppm



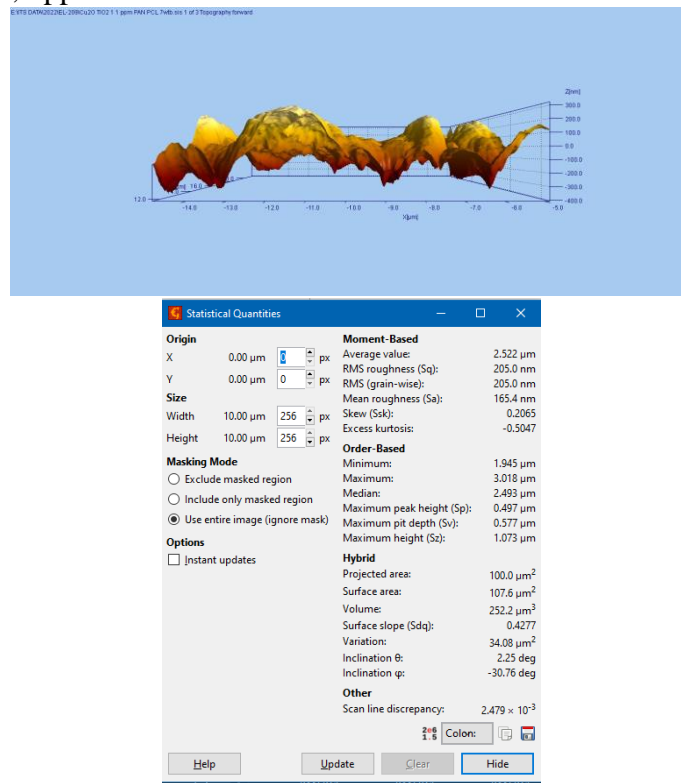
Statistical Quantities		
<b>Origin</b>		
X	0.00 μm	px
Y	0.00 μm	px
<b>Size</b>		
Width	10.00 μm	256 px
Height	10.00 μm	256 px
<b>Masking Mode</b>		
<input type="radio"/>	Exclude masked region	
<input type="radio"/>	Include only masked region	
<input checked="" type="radio"/>	Use entire image (ignore mask)	
<b>Options</b>		
<input type="checkbox"/>	Instant updates	
<b>Moment-Based</b>		
Average value:		2.495 μm
RMS roughness (Sq):		233.0 nm
RMS (grain-wise):		233.0 nm
Mean roughness (Sa):		180.1 nm
Skew (Ssk):		0.1035
Excess kurtosis:		-0.03373
<b>Order-Based</b>		
Minimum:		1.667 μm
Maximum:		3.241 μm
Median:		2.489 μm
Maximum peak height (Sp):		0.746 μm
Maximum pit depth (Sv):		0.827 μm
Maximum height (Sz):		1.573 μm
<b>Hybrid</b>		
Projected area:		100.0 μm <sup>2</sup>
Surface area:		121.0 μm <sup>2</sup>
Volume:		249.5 μm <sup>3</sup>
Surface slope (Sdq):		0.7923
Variation:		56.99 μm <sup>2</sup>
Inclination θ:		3.67 deg
Inclination φ:		10.06 deg
<b>Other</b>		
Scan line discrepancy:		3.785 × 10 <sup>-3</sup>

### 2. NF-Cu<sub>2</sub>O 15 ppm

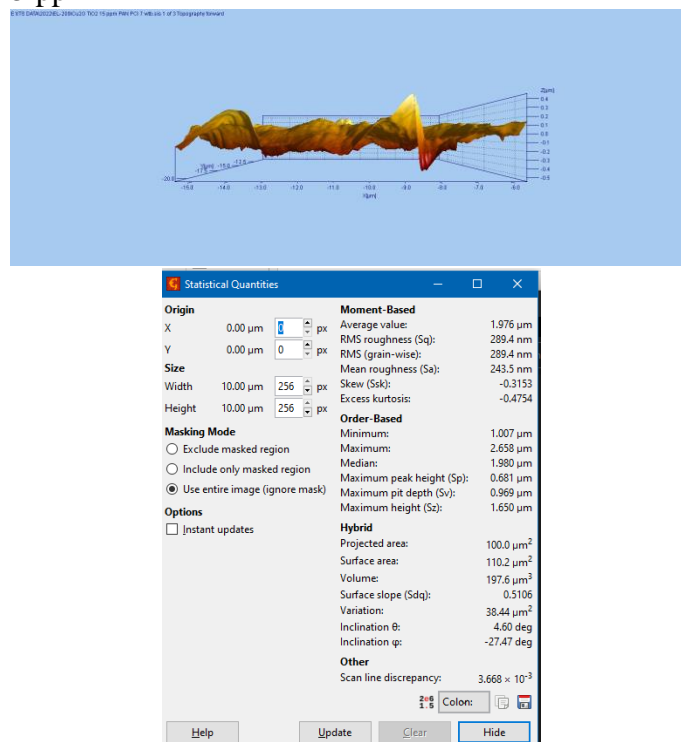


Statistical Quantities		
<b>Origin</b>		
X	0.00 μm	px
Y	0.00 μm	px
<b>Size</b>		
Width	10.00 μm	256 px
Height	10.00 μm	256 px
<b>Masking Mode</b>		
<input type="radio"/>	Exclude masked region	
<input type="radio"/>	Include only masked region	
<input checked="" type="radio"/>	Use entire image (ignore mask)	
<b>Options</b>		
<input type="checkbox"/>	Instant updates	
<b>Moment-Based</b>		
Average value:		1.599 μm
RMS roughness (Sq):		258.5 nm
RMS (grain-wise):		258.5 nm
Mean roughness (Sa):		219.4 nm
Skew (Ssk):		0.3242
Excess kurtosis:		-0.8860
<b>Order-Based</b>		
Minimum:		1.068 μm
Maximum:		2.238 μm
Median:		1.558 μm
Maximum peak height (Sp):		0.639 μm
Maximum pit depth (Sv):		0.532 μm
Maximum height (Sz):		1.170 μm
<b>Hybrid</b>		
Projected area:		100.0 μm <sup>2</sup>
Surface area:		110.5 μm <sup>2</sup>
Volume:		159.9 μm <sup>3</sup>
Surface slope (Sdq):		0.5097
Variation:		40.00 μm <sup>2</sup>
Inclination θ:		2.57 deg
Inclination φ:		-18.02 deg
<b>Other</b>		
Scan line discrepancy:		4.274 × 10 <sup>-3</sup>

### 3. NF-Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 1,1 ppm

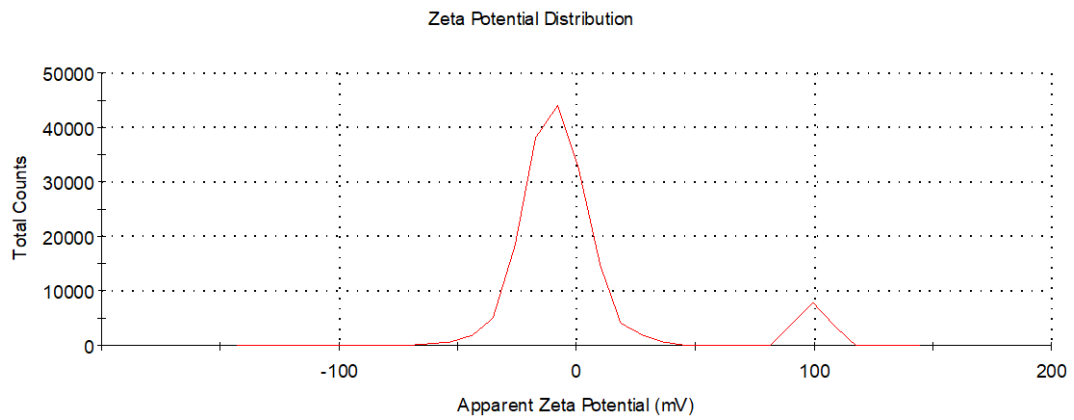


### 4. NF-Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 15 ppm

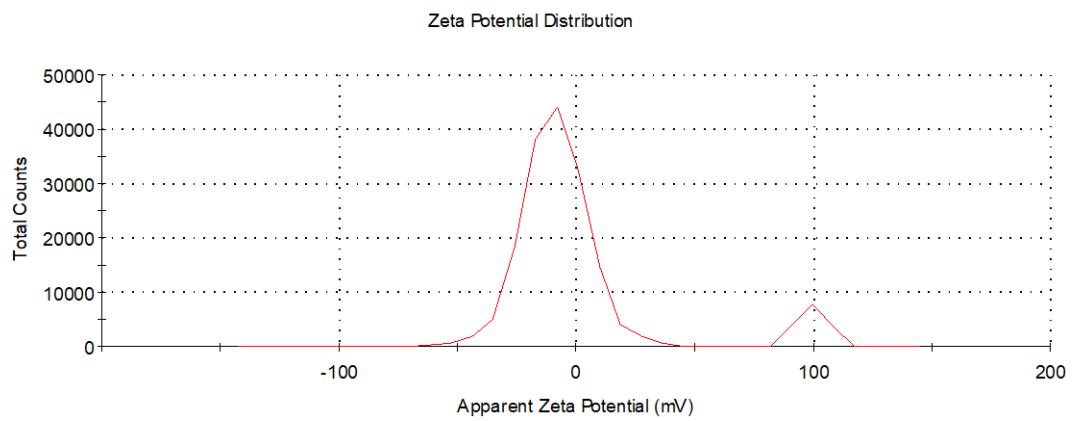


## Lampiran 6 : Pengujian Zeta potensial

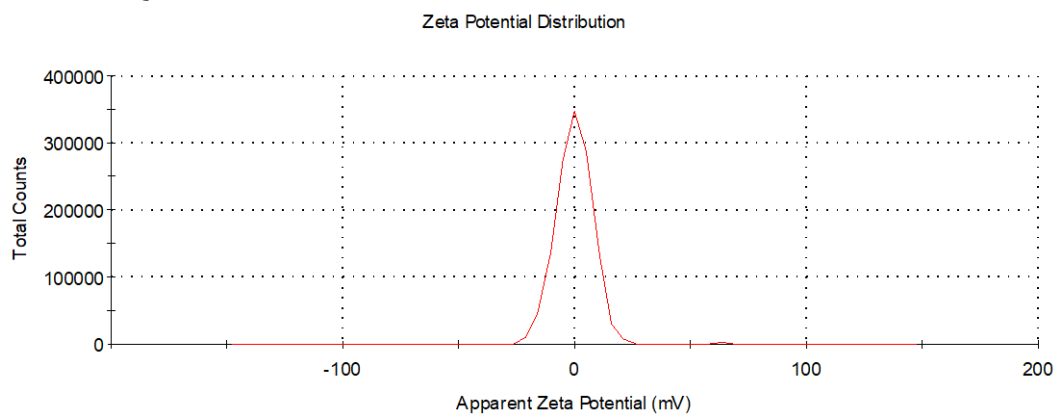
### 1. PAN/PCL



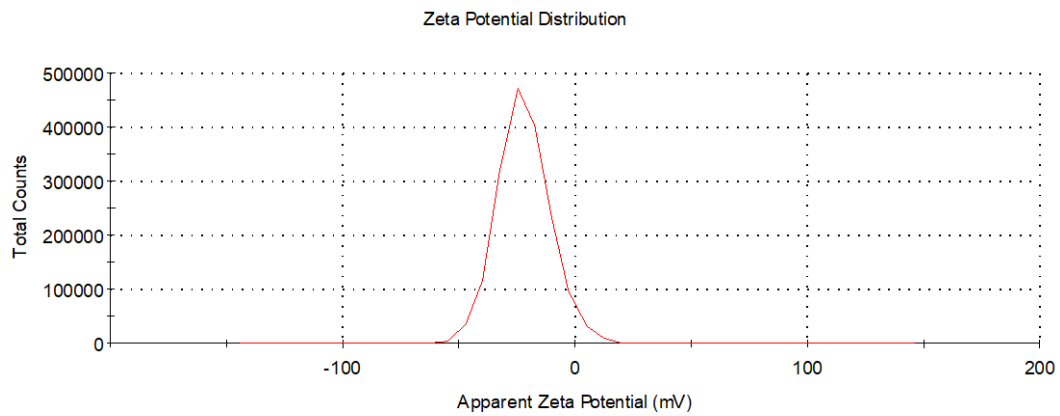
### 2. Cu<sub>2</sub>O QDs



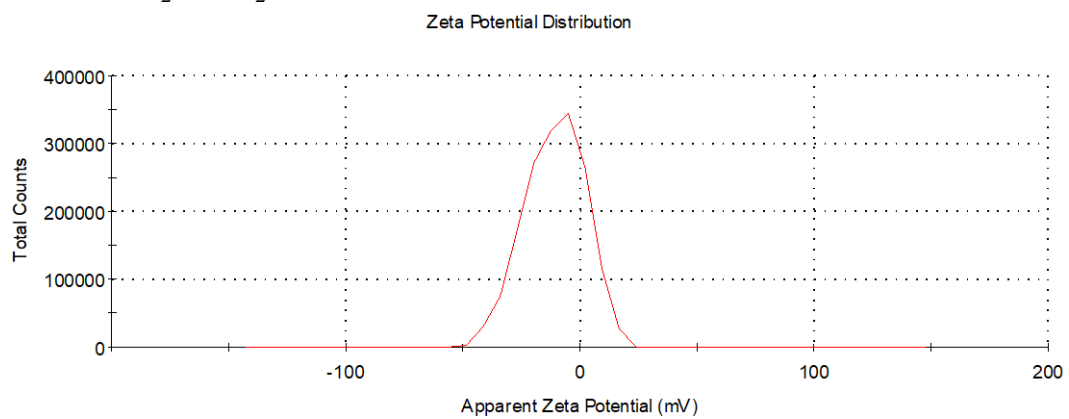
### 3. Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> QDs



4. PAN/PCL/Cu<sub>2</sub>O



5. PAN/PCL/Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>





## UCAPAN TERIMA KASIH

Tidak ada manusia yang mampu melakukan segala sesuatu sendirian. Begitupun pula dengan penulis pada saat penulis menyusun tugas akhir yang berjudul “ANALISIS MORFOLOGI DAN PERFORMA ANTIBAKTERI KOMPOSIT NANOFIBER *QUANTUM DOTS* Cu<sub>2</sub>O DAN Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>” ini. Adanya bantuan serta dukungan dari berbagai pihak, entah dalam bentuk apapun itu, adalah sesuatu yang sangat berharga bagi penulis. Untuk itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Armanto dan Ibu Listyo Puji Hartati serta kedua kakak penulis Inmas Agri Winata dan Siska Aristika yang selalu mendoakan, memberikan semangat dan motivasi kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini. Berkat doa dan kasih sayang mereka, penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan lancar.
2. Keluarga besar mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi ITS angkatan 2018 MT20 sebagai keluarga berproses dan berkembang selama berkuliah.
3. Muhammad Yusuf Bukhori sebagai partner Tugas Akhir penulis yang senantiasa menemani dan membantu penulis dalam menjalani proses pengerjaan Tugas Akhir, dan keluarga besar “Order of Limolas Kos” yaitu Aldiansyah Wahfiudin, Wafiq Syeach Muhaqqi Al-Haq, Adzon Nugraha Rizky Pratama, dan Muhammad Yasin yang selalu bersama dalam keseharian pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Mbak Yeny selaku pranata laboratorium kimia material yang senantiasa membantu penulis dalam pengujian ROS, dan juga teman-teman laboratorium kimia material: Krisna, July, Rifaul, Safa, Marel, Putri Natasya, Lehonita, Arjun, Azhim, Aziz, Alghi yang menemani penulis selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Kabinet Kontribusi, dan segenap kepengurusan Departemen Sosial Masyarakat HMMT 2020/2021 yang menemani penulis dalam perjalanan organisasi selama masa perkuliahan penulis.
6. Bapak/Ibu Tenaga Pendidik yang telah memberikan binaan, dukungan, serta kemudahan pada penulis selama kehidupan kampus.
7. Alcika Ferdin, selaku partner penulis yang senantiasa menemani dan berkembang bersama penulis, serta senantiasa ikhlas dalam menjadi tempat pelepas keluh kesah penulis sehari-hari.
8. Dendy, Yusuf, Tondi, dan Eja sebagai keluarga “Insyaallah Sukses Aamiin” selaku teman pelepas penat penulis diluar kehidupan kampus
9. MT19, MT18, dan MT17 yang telah memberikan ilmu dan berbagi pengalaman kehidupan kampus kepada penulis. Serta MT21 dan MT22 yang menjadi penerus penulis dalam menjaga segenap KM3 kedepannya.
10. Teman-teman Grader Metalurgi yang telah memberikan penulis kesempatan dalam berkembang dan menambah ilmu pada bidang metalurgi.
11. Pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu

Penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang sudah maupun belum penulis sebutkan. Semoga kebaikan yang telah diberikan kepada penulis diberikan balasan terbaik dari Allah SWT. Adapun, penulis juga memohon maaf atas segala kekurangan maupun kesalahan penulis selama perjalanan Tugas Akhir penulis. Semoga Tugas Akhir ini mampu memberikan manfaat pada aspek teknologi di tanah air Indonesia khususnya pada bidang Teknik Material dan Metalurgi.

Surabaya, 11 Juli 2022

Penulis

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BIODATA PENULIS



Nama Ega Oktriliardi diberikan kepada penulis sejak penulis lahir pada tanggal 04 Oktober 2000 di Kota Jambi, Provinsi Jambi. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara hasil buah kasih pasangan Armanto dan Listyo Puji Hartati. Penulis menempuh pendidikan formal pertama di SD N 212 Kota Jambi, kemudian melanjutkan pendidikan di SMP N 18 Kota Jambi dan SMA N 08 Kota Jambi. Setelah menempuh pendidikan sekolah, penulis melanjutkan studinya mengejar gelar Strata-1 (S1) di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember tahun angkatan 2018. Selama menempuh pendidikan kampus, penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan pelatihan di kampus seperti pelatihan manajerial (LKMM-TD), kewirausahaan (LKMW-TL), serta keagamaan (Pearlite 1). Penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan dan organisasi keilmiah seperti bergabung dalam organisasi INDOCOR, dan menjadi Grader di lab Metalurgi DTMM. Sedangkan pada kegiatan kemahasiswaan, penulis aktif didalam Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi dengan menjabat sebagai Kepala Departemen Sosial dan Kemasyarakatan. Penulis dapat dihubungi dengan menghubungi nomor telepon +62 895-6220-84527 atau melalui alamat e-mail penulis di oktriliardie04@gmail.com

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*