

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Hasil Penelitian

Data hasil penelitian *Four Point Probe* membran ZnO/GO dengan variasi berat  $\text{KMnO}_4$  dan waktu oksidasi dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Data Pengujian *Four Point Probe*

No	$\text{KMnO}_4$ (gr)	Ice bath (jam)	Sampel	<i>Sheet Resistance</i> ( $\text{k}\Omega/\text{sq}$ )	Konduktivitas Listrik (S/m)	Ketebalan ( $\mu\text{m}$ )
1	6	2	M1T1	2,1554	1,9634	240
2	6	3	M1T2	0,9456	5,041	260
3	6	4	M1T3	1,366	3,8578	200
4	8	2	M2T1	5,6012	1,18186	170
5	8	3	M2T2	0,4984	8,0514	270
6	8	4	M2T3	3,078	1,5026	220
7	10	2	M3T1	6,518	0,6337	230
8	10	3	M3T2	8,2166	0,4887	250
9	10	4	M3T3	11,807	0,4165	250
10	6	2	STANDAR	4856	0,000929	200

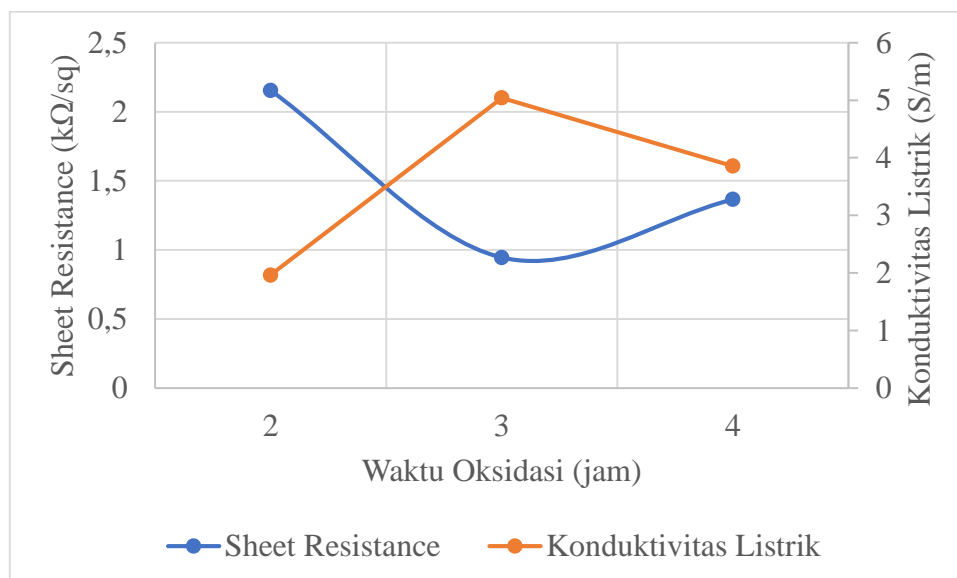
Data hasil penelitian *Raman Spectroscopy* membran ZnO/GO dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Data Pengujian *Raman Spectroscopy*

Sampel	<i>Raman Shift</i> ( $\text{cm}^{-1}$ )		<i>Intensity</i> (counts)		Rasio $I_D/I_G$
	D	G	D	G	
M1T2	1354,93	1599,37	324,454	342,053	0,948
M1T3	1351,87	1602,32	269,934	298,941	0,902
M2T2	1358,42	1597,24	469,151	468,442	1,00
M3T2	1352,31	1593,45	354,6	368,509	0,962
STANDAR	1351,4	1595,96	349,094	349,311	0,999

## 4.2 Konduktivitas Listrik

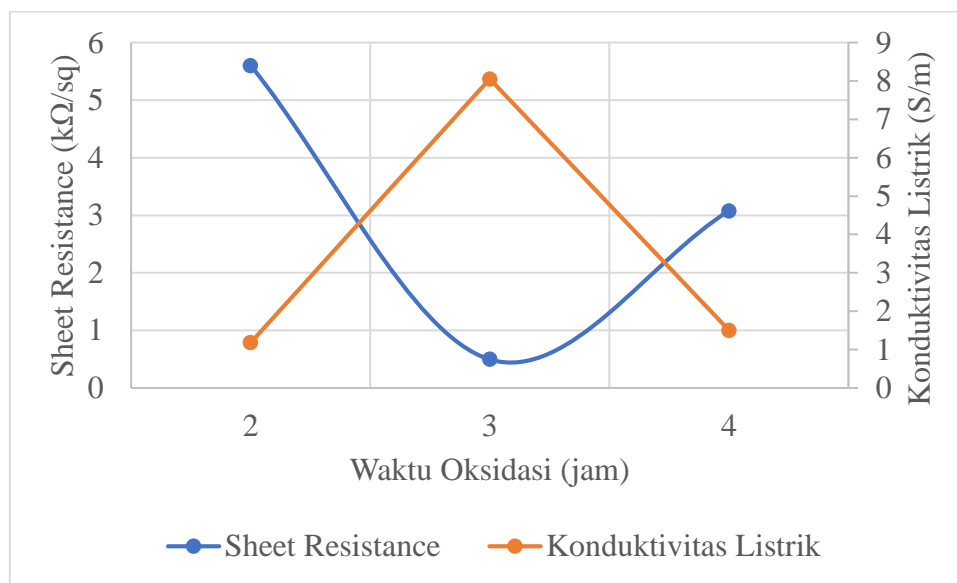
Berdasarkan data hasil pengujian konduktivitas listrik menggunakan metode *four point probe* pada Tabel 4.1 didapatkan grafik pengaruh waktu oksidasi terhadap *sheet resistance* dan grafik pengaruh waktu oksidasi terhadap konduktivitas listrik. Konduktivitas listrik pada pengujian ini didapat dari perhitungan konduktivitas listrik berdasarkan *sheet resistance* dan ketebalan material tersebut. *Sheet resistance* dikalikan dengan ketebalan akan menghasilkan resistivitas dimana untuk mendapatkan konduktivitas listrik dihitung dari 1 dibagi dengan resistivitas material tersebut. Semakin rendah nilai *sheet resistance* material tersebut maka nilai konduktivitas listrik dari material tersebut akan semakin tinggi. Pengaruh waktu oksidasi terhadap *sheet resistance* dan konduktivitas listrik membran ZnO/GO dapat dilihat pada Gambar 4.1, Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.



**Gambar 4.1** Grafik Pengaruh Waktu Oksidasi pada penambahan  $\text{KMnO}_4$  6 gram

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat pengaruh waktu oksidasi terhadap *sheet resistance* dimana pada berat  $\text{KMnO}_4$  6 gram didapat grafik berbentuk parabola yang menunjukkan pada waktu oksidasi 3 jam *sheet resistance* material memiliki nilai terendah. Pada waktu oksidasi 4 jam terdapat kenaikan *sheet resistance* dari waktu oksidasi 3 jam. Berdasarkan dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa waktu oksidasi yang optimal untuk mendapatkan *sheet resistance* yang rendah adalah 3 jam. *Sheet resistance* terendah pada waktu oksidasi 3 jam terdapat pada sampel dengan berat  $\text{KMnO}_4$  8 gram dengan nilai *sheet resistance* sebesar  $0,9456 \text{ k}\Omega/\text{sq}$ . Terdapat penurunan *sheet resistance* yang sangat signifikan dibanding dengan membran grafena oksida tanpa deposisi ZnO.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.1 dapat dilihat pengaruh waktu oksidasi terhadap konduktivitas listrik dimana pada berat  $\text{KMnO}_4$  6 terdapat grafik berbentuk parabola yang menunjukkan pada waktu oksidasi 3 jam konduktivitas listrik material memiliki nilai tertinggi. Pada waktu oksidasi 4 jam terdapat penurunan konduktivitas listrik dari waktu oksidasi 3 jam. Berdasarkan dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa waktu oksidasi yang optimal untuk mendapatkan konduktivitas listrik yang tinggi adalah 3 jam. Konduktivitas listrik tertinggi terdapat pada berat  $\text{KMnO}_4$  terdapat pada sampel dengan waktu oksidasi 3 jam dengan nilai konduktivitas listrik sebesar  $5,041 \text{ S/m}$ . Terdapat penurunan *sheet resistance* yang sangat signifikan dibanding dengan membran grafena oksida tanpa deposisi ZnO.

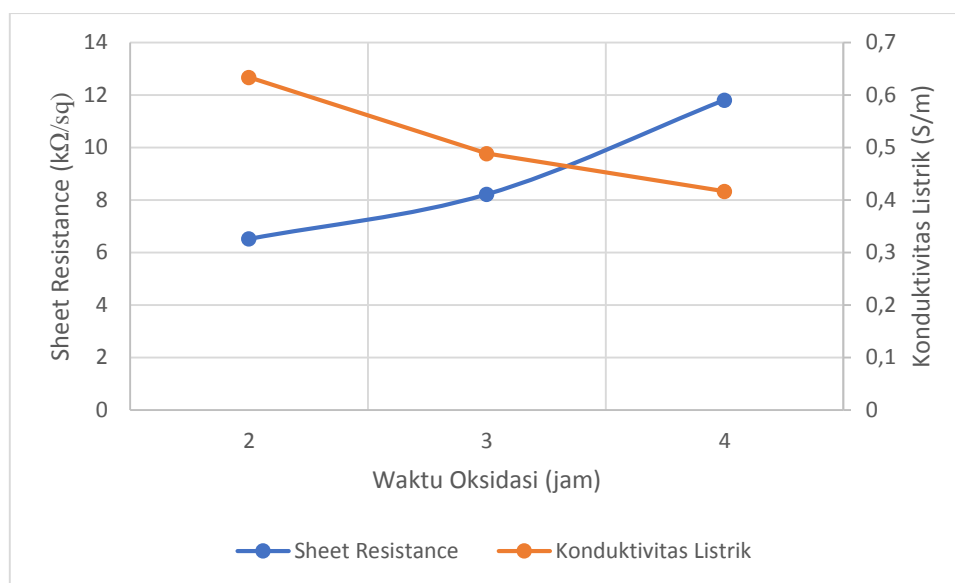


**Gambar 4.2** Grafik Pengaruh Waktu Oksidasi pada penambahan  $\text{KMnO}_4$  8 gram

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat pengaruh waktu oksidasi terhadap *sheet resistance* dimana pada berat  $\text{KMnO}_4$  8 gram grafik berbentuk parabola yang menunjukkan pada waktu oksidasi 3 jam *sheet resistance* material memiliki nilai terendah. Pada waktu oksidasi 4 jam terdapat kenaikan *sheet resistance* dari waktu oksidasi 3 jam. Berdasarkan dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa waktu oksidasi yang optimal untuk mendapatkan *sheet resistance* yang rendah adalah 3 jam. *Sheet resistance* terendah pada waktu oksidasi 3 jam terdapat pada sampel dengan berat  $\text{KMnO}_4$  8 gram dengan nilai *sheet resistance* sebesar 0,4984 kΩ/sq.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.2 dapat dilihat pengaruh waktu oksidasi terhadap konduktivitas listrik dimana pada berat  $\text{KMnO}_4$  8 gram didapat grafik berbentuk parabola yang menunjukkan pada waktu oksidasi 3 jam konduktivitas listrik material memiliki nilai tertinggi. Pada waktu oksidasi 4 jam terdapat penurunan konduktivitas listrik dari waktu oksidasi 3 jam. Berdasarkan dari grafik

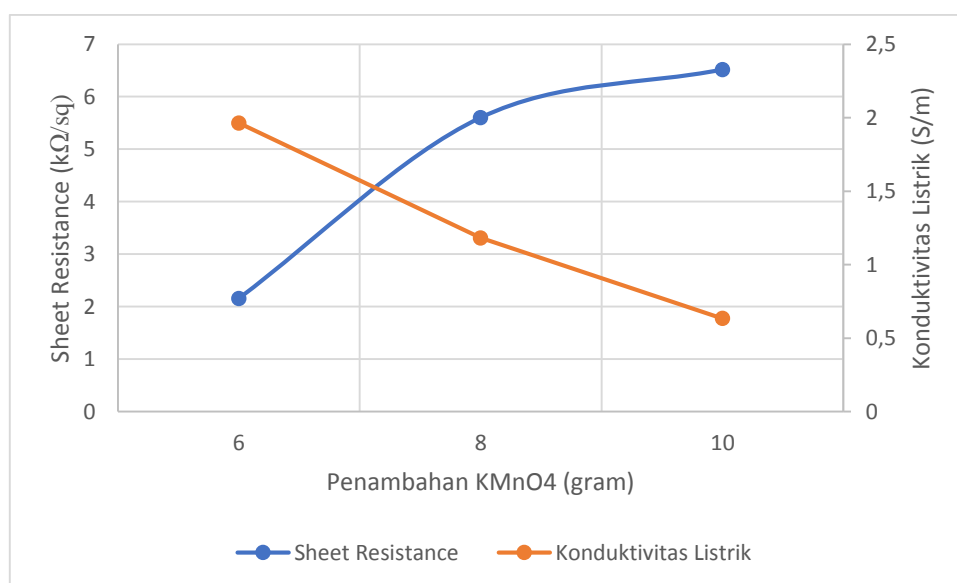
di atas dapat disimpulkan bahwa waktu oksidasi yang optimal untuk mendapatkan konduktivitas listrik yang tinggi adalah 3 jam. Konduktivitas listrik tertinggi pada berat  $\text{KMnO}_4$  terdapat pada sampel dengan waktu oksidasi 3 jam dengan nilai konduktivitas listrik sebesar 8,0514 S/m.



**Gambar 4.3** Grafik Pengaruh Waktu Oksidasi pada penambahan  $\text{KMnO}_4$  10 gram

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat pengaruh waktu oksidasi terhadap *sheet resistance* dimana pada berat  $\text{KMnO}_4$  10 gram grafik didapat berbentuk linear yang menunjukkan pada waktu oksidasi 2 jam *sheet resistance* material memiliki nilai terendah. Berdasarkan dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa waktu oksidasi yang optimal untuk mendapatkan *sheet resistance* yang rendah adalah 4 jam. *Sheet resistance* terendah pada waktu oksidasi 4 jam terdapat pada sampel dengan berat  $\text{KMnO}_4$  6 gram dengan nilai *sheet resistance* sebesar 6,518 kΩ/sq.

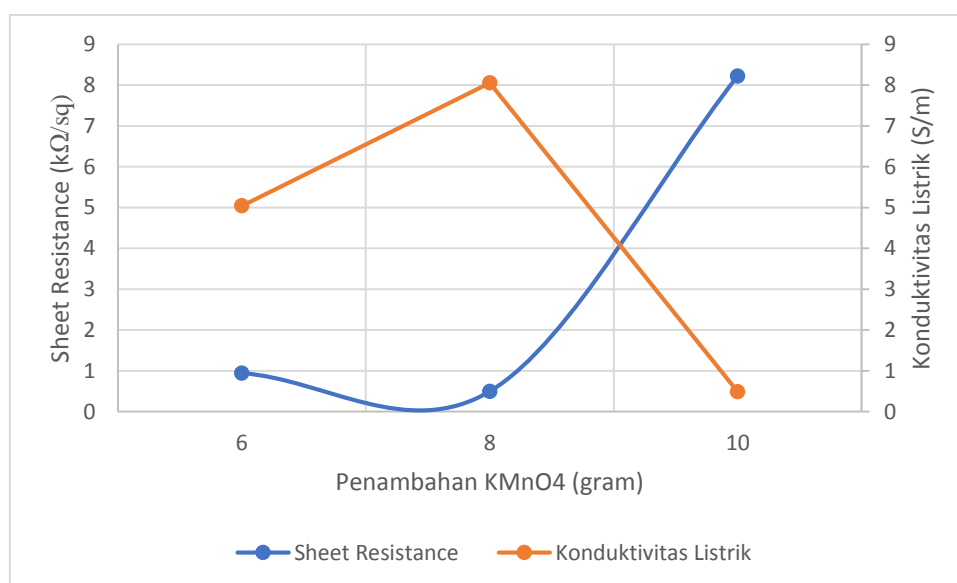
Berdasarkan grafik pada Gambar 4.3 dapat dilihat pengaruh berat  $\text{KMnO}_4$  terhadap konduktivitas listrik dimana pada waktu oksidasi 2 jam didapat grafik linear yang menunjukkan pada berat  $\text{KMnO}_4$  6 gram konduktivitas listrik material memiliki nilai tertinggi. Konduktivitas listrik tertinggi pada waktu oksidasi 4 jam terdapat pada sampel dengan berat  $\text{KMnO}_4$  6 gram dengan nilai konduktivitas listrik sebesar 0,6337 S/m.



**Gambar 4.4** Grafik Pengaruh Penambahan  $\text{KMnO}_4$  pada Waktu Oksidasi 2 jam

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat pengaruh penambahan  $\text{KMnO}_4$  terhadap *sheet resistance* dimana pada waktu oksidasi 2 jam didapat grafik berbentuk linear yang menunjukkan pada berat  $\text{KMnO}_4$  6 gram *sheet resistance* material memiliki nilai terendah. Pada berat  $\text{KMnO}_4$  10 gram didapat nilai *sheet resistance* tertinggi. *Sheet resistance* terendah pada waktu oksidasi 2 jam terdapat pada sampel dengan berat  $\text{KMnO}_4$  6 gram dengan nilai *sheet resistance* sebesar 2,1554  $\text{k}\Omega/\text{sq}$ .

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.4 dapat dilihat pengaruh berat  $\text{KMnO}_4$  terhadap konduktivitas listrik dimana pada waktu oksidasi 2 jam didapat grafik linear yang menunjukkan pada berat  $\text{KMnO}_4$  6 gram konduktivitas listrik material memiliki nilai tertinggi. Konduktivitas listrik tertinggi pada waktu oksidasi 4 jam terdapat pada sampel dengan berat  $\text{KMnO}_4$  6 gram dengan nilai konduktivitas listrik sebesar 0,6337 S/m.

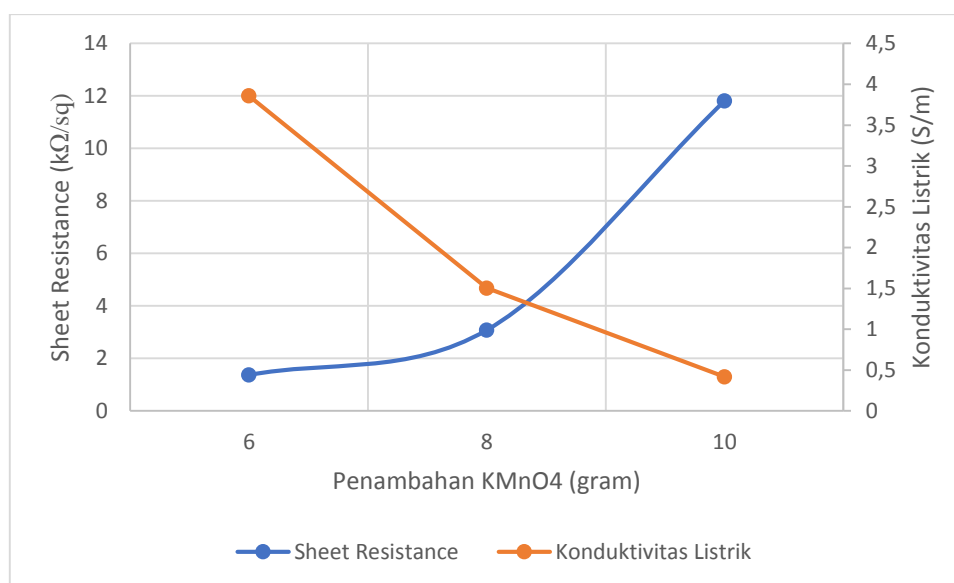


**Gambar 4.5** Grafik Pengaruh Penambahan  $\text{KMnO}_4$  pada Waktu Oksidasi 3 jam

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat pengaruh penambahan  $\text{KMnO}_4$  terhadap *sheet resistance* dimana pada waktu oksidasi 2 jam didapat grafik berbentuk parabola yang menunjukkan pada berat  $\text{KMnO}_4$  8 gram *sheet resistance* material memiliki nilai terendah. Pada berat  $\text{KMnO}_4$  10 gram didapat nilai *sheet resistance* tertinggi. *Sheet resistance* terendah pada waktu oksidasi 3 jam terdapat

pada sampel dengan berat  $\text{KMnO}_4$  8 gram dengan nilai *sheet resistance* sebesar 0,4984  $\text{k}\Omega/\text{sq}$ .

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.5 dapat dilihat pengaruh berat  $\text{KMnO}_4$  terhadap konduktivitas listrik dimana pada waktu oksidasi 3 jam didapat grafik parabola yang menunjukkan pada berat  $\text{KMnO}_4$  8 gram konduktivitas listrik material memiliki nilai tertinggi. Konduktivitas listrik tertinggi pada waktu oksidasi 3 jam terdapat pada sampel dengan berat  $\text{KMnO}_4$  8 gram dengan nilai konduktivitas listrik sebesar 8,0514 S/m.



**Gambar 4.6** Grafik Pengaruh Penambahan  $\text{KMnO}_4$  pada Waktu Oksidasi 4 jam

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat pengaruh penambahan  $\text{KMnO}_4$  terhadap *sheet resistance* dimana pada waktu oksidasi 4 jam didapat grafik berbentuk linear yang menunjukkan pada berat  $\text{KMnO}_4$  6 gram *sheet resistance* material memiliki nilai terendah. Pada berat  $\text{KMnO}_4$  10 gram didapat nilai *sheet*

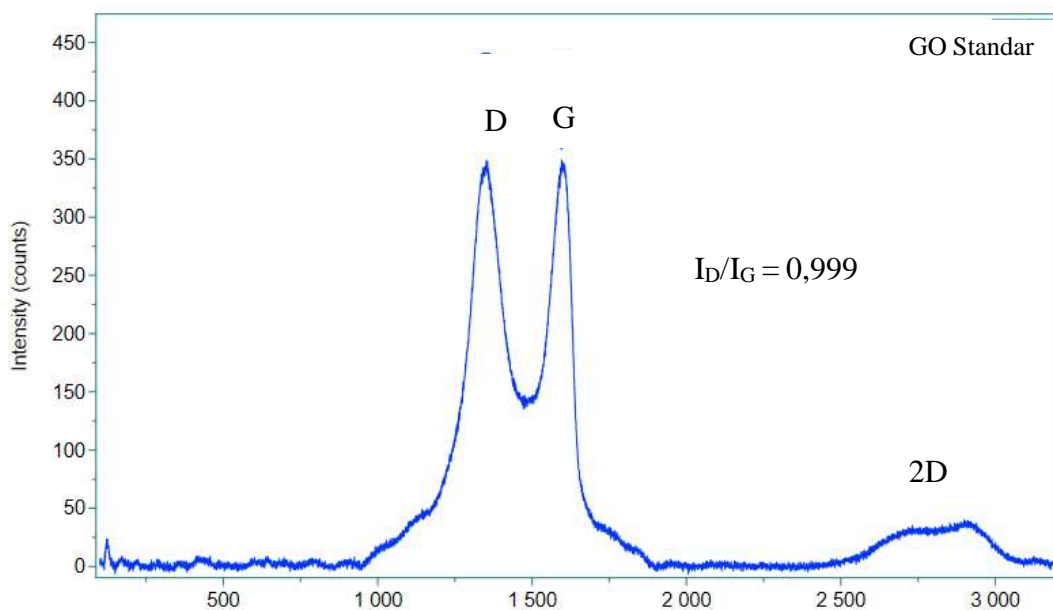


*resistance* tertinggi. *Sheet resistance* terendah pada waktu oksidasi 4 jam terdapat pada sampel dengan berat  $\text{KMnO}_4$  6 gram dengan nilai *sheet resistance* sebesar 1,366  $\text{k}\Omega/\text{sq}$ .

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.6 dapat dilihat pengaruh berat  $\text{KMnO}_4$  terhadap konduktivitas listrik dimana pada waktu oksidasi 3 jam didapat grafik linear yang menunjukkan pada berat  $\text{KMnO}_4$  6 gram konduktivitas listrik material memiliki nilai tertinggi. Konduktivitas listrik tertinggi pada waktu oksidasi 4 jam terdapat pada sampel dengan berat  $\text{KMnO}_4$  6 gram dengan nilai konduktivitas listrik sebesar 3,8578 S/m.

### **4.3 Raman Spectroscopy**

Spektroskopi Raman adalah teknik non-destruktif yang biasa digunakan untuk menyelidiki berbagai struktur nano karbon. Posisi dan rasio intensitas pita Raman karakteristik (pita D, G, dan 2D) digunakan untuk mengkarakterisasi kristalinitas, tingkat doping, keberadaan cacat dan jenis gugus fungsi, dll. Analisis Raman digunakan untuk memantau intensitas dan rasio pita, sehingga memberikan informasi tentang integritas struktural grafena oksida. Grafik spektrum *raman* pada membran GO dapat dilihat pada Gambar 4.7.



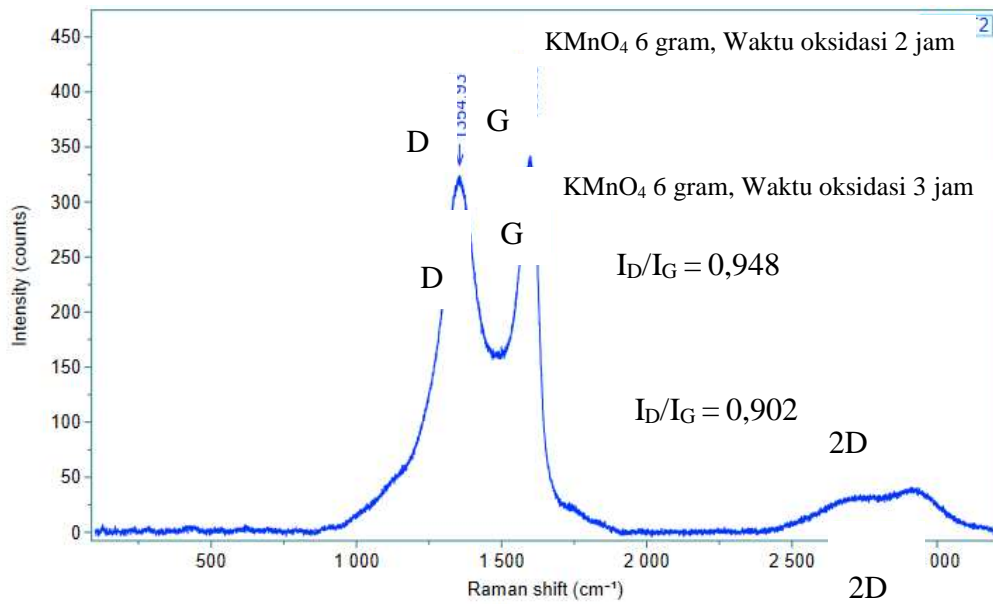
**Gambar 4.7** Raman Spektrum dari Membran GO

Nilai Pita D (*defect*) adalah pita yang menunjukkan kecacatan hasil dari sintesis, semakin tinggi nilai intensitas maka akan menunjukkan keberhasilan mereduksi lapisan karbon grafit dikarenakan adanya cacat yang dihasilkan dari proses sintesis. Puncak pita D pada hasil karakterisasi raman berada disekitar  $1340\text{cm}^{-1}$ . Nilai Pita G menunjukkan keteraturan ikatan atom karbon, pita G berada disekitar  $1583\text{cm}^{-1}$  (Hulman. 2014). Nilai 2D dapat menentukan ketebalan lapisan grafena dari rasio perbandingan nilai  $I_{2D}/I_G$ . Posisi puncak pita 2D berada pada  $2690\text{cm}^{-1}$ . Puncak pada difraksi D, G dan 2D serta intensitas pada hasil karakterisasi raman mendapatkan data yang berbeda beda pada tiap sampel.

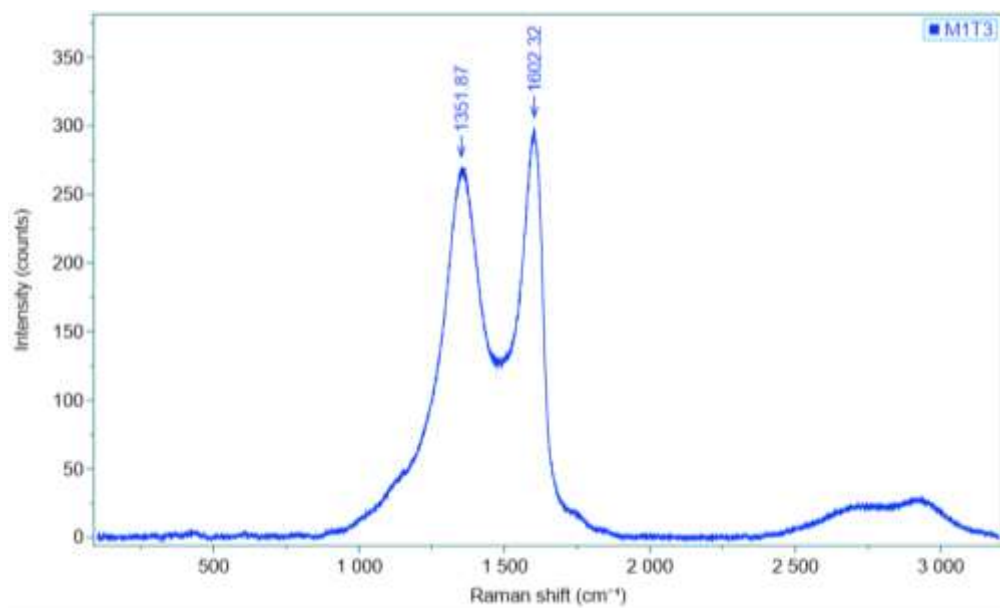
Berdasarkan raman spektrum yang didapat dapat dilihat pengaruh berat  $\text{KMnO}_4$  6, 8 dan 10 gram. Pada waktu oksidasi 3 jam dan penambahan  $\text{KMnO}_4$  6,8 dan gram didapat  $I_D/I_G$  masing-masing 0,948;1,00; dan 0,962. Pada waktu oksidasi

4 jam dan penambahan  $\text{KMnO}_4$  6 gram didapat  $I_D/I_G$  0,902. Data pada pita D, G dan 2D yang dihasilkan menunjukkan telah dapat memecahkan ikatan lapisan grafit menjadi beberapa layer grafena oksida. Dikarenakan pada tiap sampel memiliki intensitas D lebih kecil dari pada pita G dapat diketahui bahwa ikatan karbon pada grafit lebih banyak daripada cacat pada grafen oksida yang terbentuk. Berdasarkan pada Tabel 4.2, pengaruh penambahan  $\text{KMnO}_4$  dari sampel M1T2, M2T2 dan M3T2 pada waktu oksidasi 3 jam memiliki Spektrum Raman yang sangat mirip dalam frekuensi puncak dan lebarnya dan menyajikan variasi kecil dalam perbandingan  $I_D/I_G$  dari pita D, G dan 2D nya.

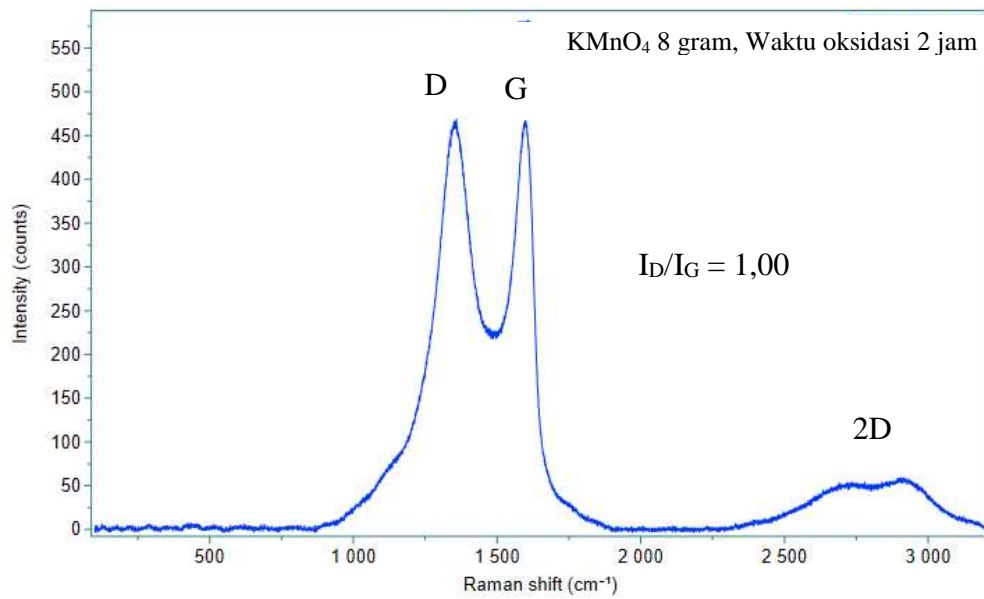
Gambar 4.8 hingga Gambar 4.11 memberikan spektrum mikro Raman dari membran ZnO/GO. Itu spektrum kedua film menyerupai sampel GO/RGO biasa, menampilkan dua puncak yang menonjol pada  $1600\text{ cm}^{-1}$  dan  $1340\text{ cm}^{-1}$ , yang dianggap berasal dari G-band dan D-band, masing-masing. Peningkatan  $I_D/I_G$  menunjukkan bahwa pengurangan sebagian domain  $\text{sp}^3$  di GO harus terjadi, mungkin dengan transfer biaya dari ZnO. Secara keseluruhan, ZnO dan GO mungkin bersifat amorphous dan berinteraksi oleh kekuatan lain dari sekadar interaksi elektrostatik seperti pada jurnal (Gross, 2019).



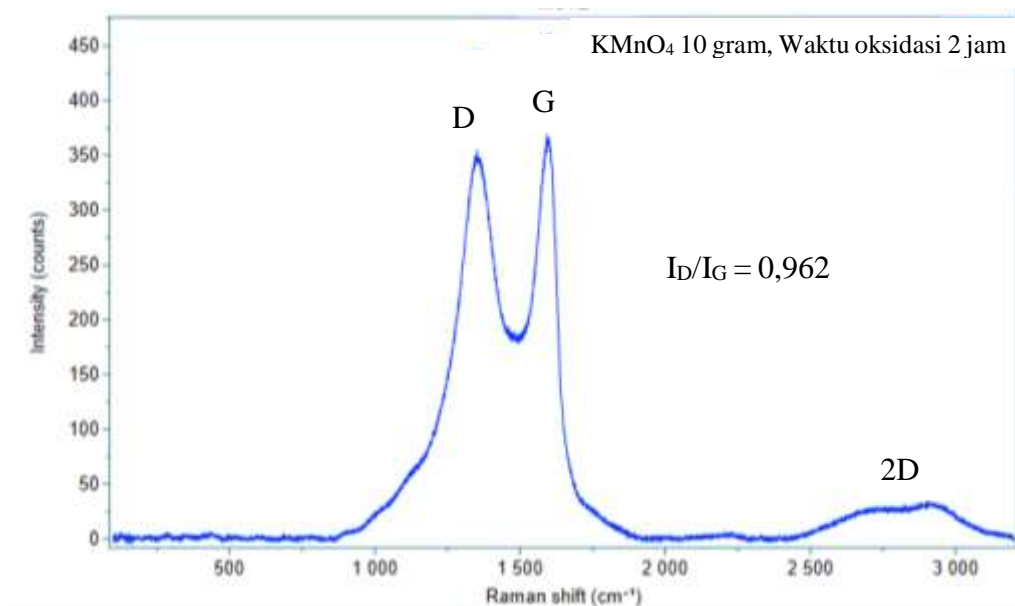
**Gambar 4.8** Raman Spektrum dari Membran ZnO/GO dengan KMnO<sub>4</sub> 6 gram dan waktu oksidasi 2 jam



**Gambar 4.9** Raman Spektrum dari Membran ZnO/GO dengan KMnO<sub>4</sub> 6 gram dan waktu oksidasi 3 jam



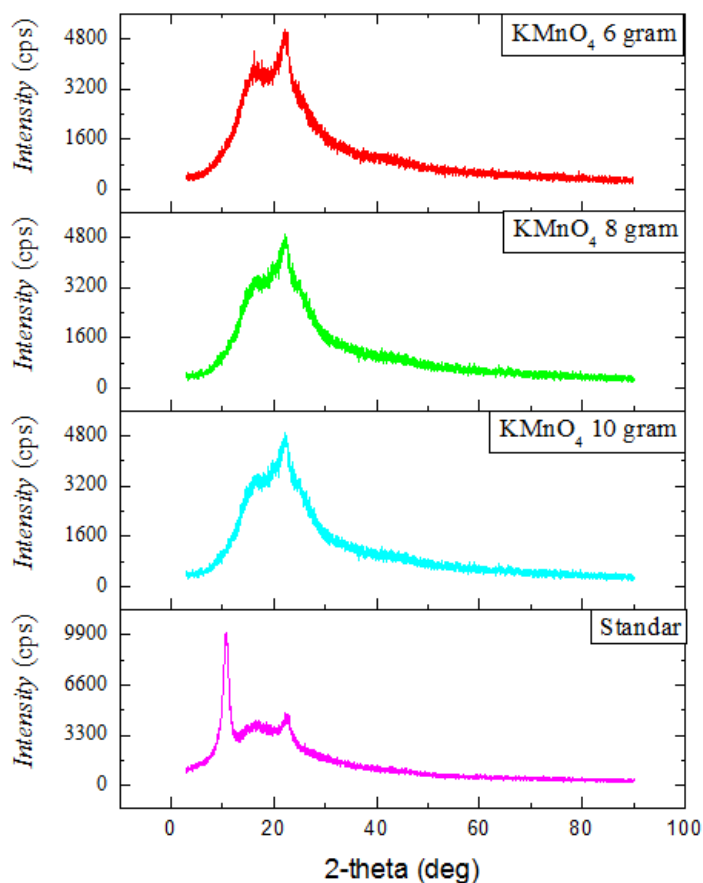
**Gambar 4.10** Raman Spektrum dari Membran ZnO/GO dengan KMnO<sub>4</sub> 8 gram dan waktu oksidasi 2 jam



**Gambar 4.11** Raman Spektrum dari Membran ZnO/GO dengan KMnO<sub>4</sub> 6 gram dan waktu oksidasi 2 jam

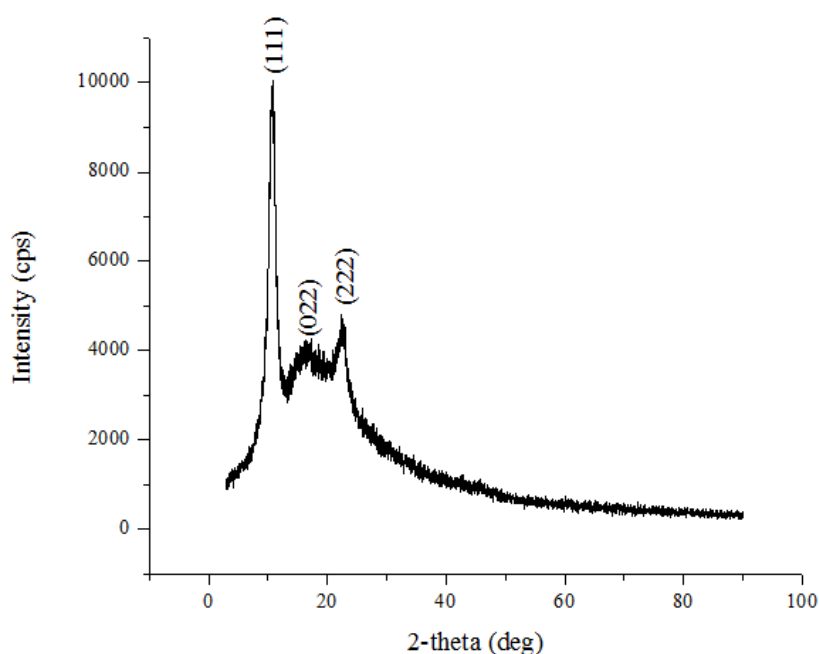
#### 4.4 X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi X-ray Diffraction (XRD) dilakukan untuk mengetahui lapisan yang terbentuk pada substrat berupa puncak difraksi dan struktur kristal. Rentang  $2\theta$  yang digunakan sebesar  $0^\circ$ - $90^\circ$ , Rentang sudut ini bertujuan untuk data yang dihasilkan lebih terfokus dan puncak sudut  $2\theta$  tidak melebar. Hasil yang didapat dari karakterisasi XRD pada semua sampel menunjukkan lapisan yang terbentuk di membran grafena oksida merupakan seng oksida dengan struktur kristal heksagonal. Pada Gambar 4.12 dapat dilihat hasil pola difraksi dari sampel yang telah dikarakterisasi XRD.



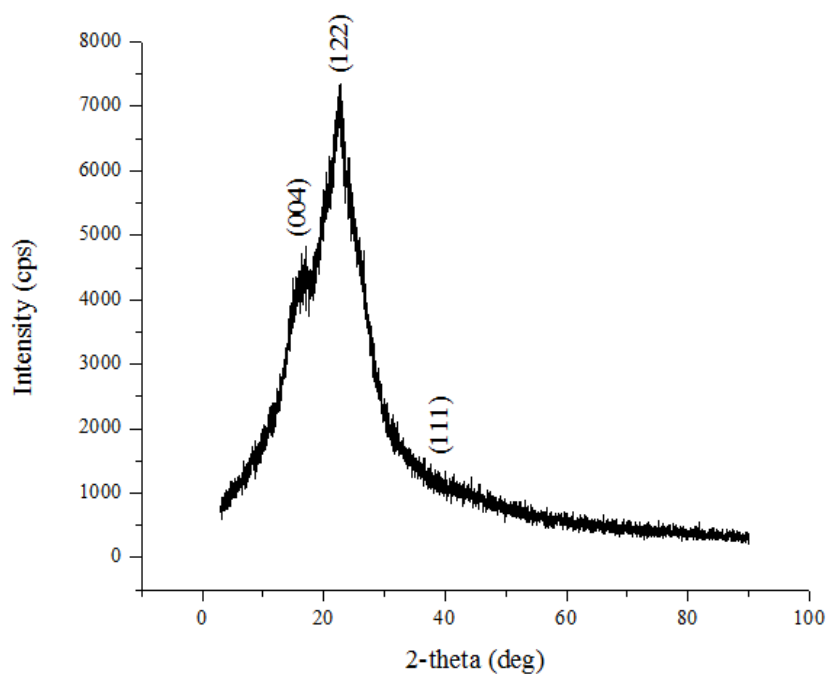
**Gambar 2.12** Hasil Karakterisasi XRD

Pada sampel membran grafena oksida yang tidak terdeposisi ZnO (standar) berdasarkan *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD) 98-005-6909 terdapat puncak pada sudut  $2\theta = 10,63^\circ$ ;  $16,39^\circ$  dan  $22,52^\circ$  dengan orientasi berturut-turut (111), (022) dan (222). Sebagai perbandingan hasil XRD menunjukkan puncak pada sudut  $2\theta = 10,5^\circ$  menunjukkan pembentukan struktur oksida grafit dan hilangnya puncak pada sudut  $26,6^\circ$  menjadikan membran GO yang didapatkan dari metode Hummers yang berbasis limbah elektroda EAF berunsur karbon berhasil dioksidasi. Pergeseran puncak GO kearah kiri disebabkan oleh terbentuknya gugus fungsional hidroksil dan karbonil pada saat dilakukan oksidasi (Faiz, 2020). Hasil yang didapat dari karakterisasi XRD pada membran grafena oksida memiliki unsur karbon dengan struktur kristal ortorombik. Gambar 4.13 merupakan hasil pola difraksi dari sampel membran GO standar yang telah dikarakterisasi XRD.



**Gambar 2.13** Hasil Karakterisasi XRD GO Standar

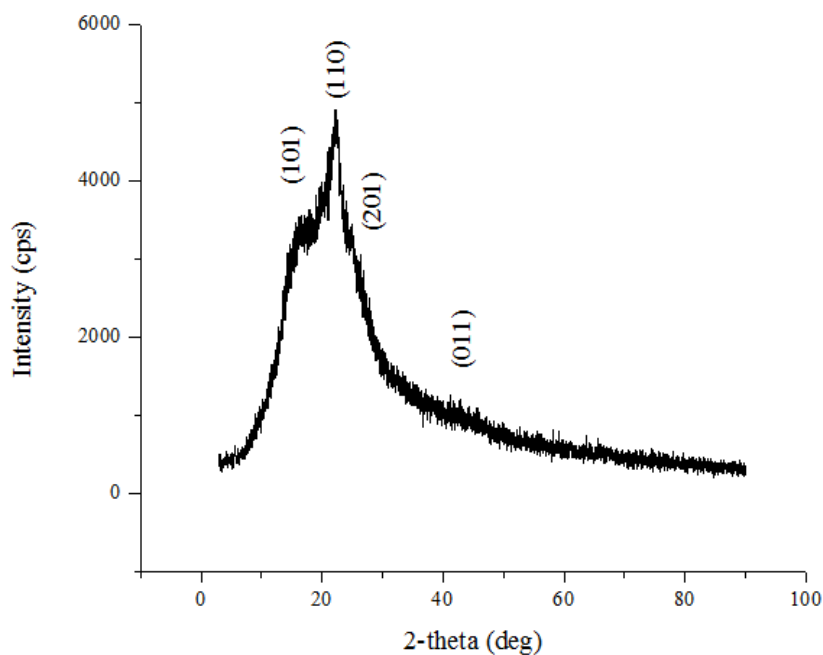
Sampel yang dilakukan pengujian XRD adalah sampel dengan waktu oksidasi 2 jam dengan variasi berat  $\text{KMnO}_4$ . Pada sampel dengan berat  $\text{KMnO}_4$  6 gram berdasarkan *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD) 98-005-6912 terdapat puncak pada sudut  $2\theta = 17,163^\circ, 22,721^\circ; 2^\circ$  dan  $39^\circ$  dengan orientasi berturut-turut (004), (112), dan (111). Hasil yang didapat dari karakterisasi XRD pada membran ZnO/GO dengan waktu sintesis 2 jam dengan berat  $\text{KMnO}_4$  6 gram memiliki unsur Zn dengan struktur kristal heksagonal. Pada sampel ini puncak difraksi pada rentang sudut  $2\theta$  dibawah  $30^\circ$  merupakan puncak dari unsur karbon sedangkan puncak difraksi pada rentang sudut  $2\theta$  diatas  $30^\circ$  merupakan puncak dari unsur Zn. Gambar 4.14 merupakan hasil pola difraksi dari sampel membran ZnO/GO dengan waktu sintesis 2 jam dengan berat  $\text{KMnO}_4$  6 gram yang telah dikarakterisasi XRD.



**Gambar 2.14** Hasil Karakterisasi XRD Membran ZnO/GO dengan Berat  $\text{KMnO}_4$   
6 gram

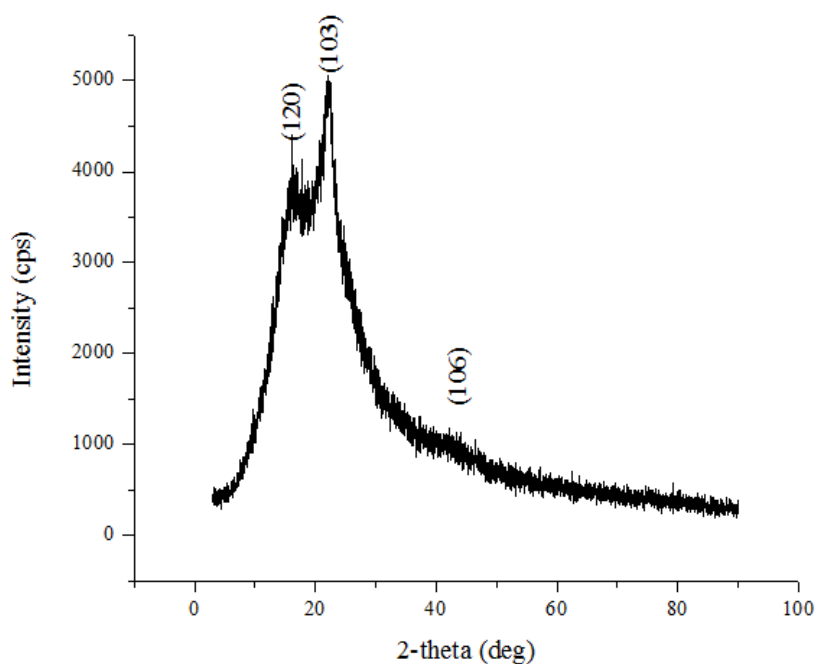


Pada sampel dengan berat  $\text{KMnO}_4$  8 gram berdasarkan *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD) 98-005-6902 terdapat puncak pada sudut  $2\theta = 16,06^\circ$ ;  $29,10^\circ$ ;  $22,25^\circ$  dan  $43,44^\circ$  dengan orientasi berturut-turut (101), (110), (201) dan (011). Hasil yang didapat dari karakterisasi XRD pada membran ZnO/GO dengan waktu sintesis 2 jam dengan berat  $\text{KMnO}_4$  8 gram memiliki unsur Zn dengan struktur kristal heksagonal. Pada sampel ini puncak difraksi pada rentang sudut  $2\theta$  dibawah  $30^\circ$  merupakan puncak dari unsur karbon sedangkan puncak difraksi pada rentang sudut  $2\theta$  diatas  $30^\circ$  merupakan puncak dari unsur Zn. Gambar 4.15 merupakan hasil pola difraksi dari sampel membran ZnO/GO dengan waktu sintesis 2 jam dengan berat  $\text{KMnO}_4$  8 gram yang telah dikarakterisasi XRD.



**Gambar 2.15** Hasil Karakterisasi XRD Membran ZnO/GO dengan Berat  $\text{KMnO}_4$   
8 gram

Pada sampel dengan berat  $\text{KMnO}_4$  10 gram berdasarkan *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD) 98-005-6909 terdapat puncak pada sudut  $2\theta = 15,73^\circ$ ,  $22,14^\circ$  dan  $43,231^\circ$  dengan orientasi berturut-turut (120), (103), dan (106). Hasil yang didapat dari karakterisasi XRD pada membran ZnO/GO dengan waktu sintesis 2 jam dengan berat  $\text{KMnO}_4$  10 gram memiliki unsur Zn dengan struktur kristal heksagonal. Pada sampel ini puncak difraksi pada rentang sudut  $2\theta$  dibawah  $30^\circ$  merupakan puncak dari unsur karbon sedangkan puncak difraksi pada rentang sudut  $2\theta$  diatas  $30^\circ$  merupakan puncak dari unsur Zn. Gambar 4.16 merupakan hasil pola difraksi dari sampel membran ZnO/GO dengan waktu sintesis 2 jam dengan berat  $\text{KMnO}_4$  10 gram yang telah dikarakterisasi XRD.



**Gambar 2.16** Hasil Karakterisasi XRD Membran ZnO/GO dengan Berat  $\text{KMnO}_4$   
10 gram