

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
HALAMAN MOTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR PUBLIKASI	xiv
INTISARI	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Tujuan Penelitian	8
I.3 Manfaat Penelitian	8
I.4 Keaslian Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA, LANDASAN TEORI, DAN PERUMUSAN HIPOTESIS	11
II.1 Tinjauan Pustaka	11
II.1.1 Reaksi reduksi oksigen (ORR) pada sel bahan bakar membran elektrolit polimer (PEMFC)	11
II.1.2 Katalis PdCo untuk reaksi reduksi oksigen (ORR)	15
II.1.3 Grafena oksida tereduksi (RGO) sebagai material pendukung katalis	19
II.2 Perumusan Hipotesis	26
II.2.1 Perumusan hipotesis 1	26
II.2.2 Perumusan hipotesis 2	27
II.2.3 Perumusan hipotesis 3	29
II.2.4 Perumusan hipotesis 4	30
III.3 Rancangan Penelitian	31
BAB III METODE PENELITIAN	34
III.1 Bahan dan Alat Penelitian	34
III.1.1 Bahan penelitian	34
III.1.2 Alat penelitian	34
III.2 Prosedur Penelitian	35

	III.2.1 Sintesis material grafena oksida (GO)	35
	III.2.2 Sintesis material grafena oksida tereduksi (RGO)	36
	III.2.3 Sintesis material paladium-kobalt/grafena oksida tereduksi (PdCo/RGO)	37
	III.2.4 Uji aktivitas katalitik pada reaksi reduksi oksigen (ORR)	39
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	41
	IV.1 Karakterisasi Material Grafena Oksida (GO)	41
	IV.2 Karakterisasi Material Grafena Oksida Tereduksi (RGO)	54
	IV.3 Karakterisasi Material Paladium-Kobalt/Grafena Oksida Tereduksi (PdCo/RGO)	71
	IV.4 Uji Aktivitas Katalitik pada Reaksi Reduksi Oksigen (ORR)	88
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	97
	V.1 Kesimpulan	97
	V.2 Saran	97
	DAFTAR PUSTAKA	99
	LAMPIRAN	112

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Komponen utama PEMFC sel tunggal (Alaswad <i>et al.</i> , 2016)	12
Gambar II.2	Mekanisme transfer elektron untuk ORR pada logam Pt dalam media alkalin dengan asumsi adsorpsi oksigen secara <i>end-on</i> pada situs aktif Pt tunggal (Ramaswamy and Mukerjee, 2012)	14
Gambar II.3	Diagram skematik reaksi antara grafena oksida dengan logam (Huang, 2017)	19
Gambar II.4	Struktur (a) CTAB dan (b) HMTA	19
Gambar II.5	Mekanisme yang mungkin untuk oksidasi grafit dari metode Hummers (Kang <i>et al.</i> , 2016)	23
Gambar II.6	Mekanisme yang diusulkan untuk reduksi gugus epoksida dandihidroksil dengan L-asam askorbat (Chua and Pumera, 2014)	25
Gambar II.7	Oksidasi grafit menjadi GO dan reduksi menjadi RGO (Hakimi and Alimard, 2012)	26
Gambar III.1	Skema alat uji aktivitas katalitik reaksi reduksi oksigen	40
Gambar IV.1	Difraktogram dari (a) Grafit (b) GO-0,5 (c) GO-2,0 (e) GO-5,0 (f) GO-6,0	42
Gambar IV.2	Visualisasi perubahan struktur grafit menjadi grafena oksida	45
Gambar IV.3	Spektra FTIR dari (a) Grafit (b) GO-0.5 (c) GO-2,0 (d) GO-3,5 (e) GO-5,0 (f) GO-6,0	47
Gambar IV.4	Spektra UV-Vis dari (a) GO-0,5 (b) GO-2,0 (c) GO-3,5 (d) GO-5,0 (e) GO-6,0	49
Gambar IV.5	Citra SEM dari (a) Grafit (b) GO-0.5 (c) GO-2,0 (d) GO-3,5 (e) GO-5,0 (f) GO-6,0	51
Gambar IV.6	Citra TEM dari (a) Grafit (b) GO-0.5 (c) GO-2,0 (d) GO-3,5 (e) GO-5,0 (f) GO-6,0	54
Gambar IV.7	Difraktogram dari (a) GO-3,5/6 (b) RGO-HP (c) RGO-SK (d) RGO-MW	55
Gambar IV.8	Spektra Raman dari (a) GO-3,5/6 (b) RGO-HP (c) RGO-SK (d) RGO-MW	57
Gambar IV.9	Spektra FTIR dari (a) GO-3,5/6 (b) RGO-HP (c) RGO-SK (d) RGO- MW	59
Gambar IV.10	Spektra UV-Vis dari (a) GO-3,5/6 (b) RGO-HP (c) RGO-SK (d) RGO-MW	63
Gambar IV.11	Profil TGA dari (a) GO-3,5/6 (b) RGO-HP (c) RGO-SK (d) RGO-MW	63
Gambar IV.12	Profil isoterm adsorpsi-desorpsi N ₂ dari (a) GO-3,5/6 (b) RGO-HP (c) RGO-SK (d) RGO-MW	65
Gambar IV.13	Distribusi ukuran pori dari (a) GO-3,5/6 (b) RGO-HP (c) RGO-SK (d) RGO-MW	65

Gambar IV.14	Citra SEM dari (a) GO-3,5/6 (b) RGO-HP (c) RGO-SK (d) RGO-MW	67
Gambar IV.15	Citra TEM dari (a) GO-3,5/6 (b) RGO-HP (c) RGO-SK (d) RGO-MW	69
Gambar IV.16	Kombinasi antara luas permukaan spesifik dan konduktivitas listrik	69
Gambar IV.17	Difraktogram dari (a) Pd/RGO (b) Co/RGO (c) PdCo/RGO (d) PdCo-C/RGO (e) PdCo-H/RGO (f) PdCo-CH/RGO	71
Gambar IV.18	Spektra Raman dari (a) Pd/RGO (b) Co/RGO (c) PdCo/RGO (d) PdCo-C/RGO (e) PdCo-H/RGO (f) PdCo-CH/RGO	74
Gambar IV.19	Spektra FTIR dari (a) Pd/RGO (b) Co/RGO (c) PdCo/RGO (d) PdCo-C/RGO (e) PdCo-H/RGO (f) PdCo-CH/RGO	76
Gambar IV.20	Spektra UV-Vis dari (a) Pd/RGO (b) Co/RGO (c) PdCo/RGO (d) PdCo-C/RGO (e) PdCo-H/RGO (f) PdCo-CH/RGO	78
Gambar IV.21	Isoterm adsorpsi-desorpsi N ₂ dari (a) Pd/RGO (b) Co/RGO (c) PdCo/RGO (d) PdCo-C/RGO (e) PdCo-H/RGO (f) PdCo-CH/RGO	79
Gambar IV.22	Citra SEM- <i>Mapping</i> dari (a) Pd/RGO (b) Co/RGO (c) PdCo/RGO (d) PdCo-C/RGO (e) PdCo-H/RGO (f) PdCo-CH/RGO	83
Gambar IV.23	Citra TEM dan distribusi ukuran partikel dari (a) Pd/RGO (b) Co/RGO (c) PdCo/RGO (d) PdCo-C/RGO (e) PdCo-H/RGO (f) PdCo-CH/RG	88
Gambar IV.24	Kurva LSV dari (a) GO-3,5/6 (b) Pd/RGO (c) Co/RGO (d) PdCo/RGO (e) PdCo-C/RGO (f) PdCo-H/RGO (g) PdCo-CH/RGO	91
Gambar IV.25	Kurva LSV-KL dari variasi katalis ORR	92
Gambar IV.26	Jenis mode dari representasi ikatan oksigen dengan situs logam: (a) <i>side on</i> (b) <i>end-on</i> (c) <i>bridge</i> (d) <i>trans</i> (Sheelam <i>et al.</i> , 2016)	93
Gambar IV.27	Kurva stabilitas katalis dari (a) Pd/RGO dan (b) PdCo-H/RGO	95

DAFTAR TABEL

Tabel III.1	Komposisi dan kode hasil sintesis	38
Tabel IV.1	Interpretasi data XRD terhadap material GO dengan kajian variasi rasio berat KMnO_4 :grafit	45
Tabel IV.2	Interpretasi data FTIR terhadap material GO dengan kajian variasi rasio berat KMnO_4 :grafit	48
Tabel IV.3	Interpretasi data EDX terhadap material GO dengan kajian variasi rasio berat KMnO_4 :grafit	52
Tabel IV.4	Interpretasi data XRD terhadap GO dan RGO dengan kajian variasi metode pemanasan reduksi	56
Tabel IV.5	Interpretasi data Raman terhadap GO dan RGO dengan kajian variasi metode pemanasan reduksi	58
Tabel IV.6	Interpretasi data FTIR terhadap GO dan RGO dengan kajian variasi metode pemanasan reduksi	60
Tabel IV.7	Interpretasi data TGA terhadap GO dan RGO dengan kajian variasi metode pemanasan reduksi	62
Tabel IV.8	Interpretasi data SAA terhadap GO dan RGO dengan kajian variasi metode pemanasan reduksi	66
Tabel IV.9	Interpretasi data EDX terhadap GO dan RGO dengan kajian variasi metode pemanasan reduksi	68
Tabel IV.10	Interpretasi data XRD terhadap berbagai MNPs/RGO dengan kajian variasi jenis agen penstabil	73
Tabel IV.11	Interpretasi data Raman terhadap berbagai MNPs/RGO dengan kajian variasi jenis agen penstabil	75
Tabel IV.12	Interpretasi data FTIR terhadap berbagai MNPs/RGO dengan kajian variasi jenis agen penstabil	76
Tabel IV.13	Interpretasi data SAA terhadap berbagai MNPs/RGO dengan kajian variasi jenis agen penstabil	80
Tabel IV.14	Interpretasi data EDX terhadap berbagai MNPs/RGO dengan kajian variasi jenis agen penstabil	84
Tabel IV.15	Nilai $\omega^{-0.5}$ dan J^{-1} dari variasi katalis ORR	91
Tabel IV.16	Nilai <i>onset potential</i> , <i>kinetic current density</i> , <i>limited diffusion current density</i> , dan <i>n-transfer</i> dari variasi katalis ORR	93
Tabel IV.17	Perbandingan nilai n ORR beberapa penelitian	96

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 DATA XRD	112
1.1 Grafit	112
1.2 GO-0,5	112
1.3 GO-2,0	113
1.4 GO-3,5	113
1.5 GO-5,0	114
1.6 GO-6,0	114
1.7 GO-3,5/6	115
1.8 RGO-HP	115
1.9 RGO-SK	116
1.10 RGO-MW	116
1.11 PdCo-C/RGO	117
1.12 PdCo-H/RGO	117
1.13 PdCo-CH/RGO	118
LAMPIRAN 2 DATA FTIR	118
2.1 Grafit	118
2.2 GO-0,5	119
2.3 GO-2,0	119
2.4 GO-3,5	120
2.5 GO-5,0	120
2.6 GO-6,0	121
2.7 GO-3,5/6	121
2.8 RGO-HP	122
2.9 RGO-SK	122
2.10 RGO-MW	123
2.11 Pd/RGO	123
2.12 Co/RGO	124
2.13 PdCo/RGO	124
2.14 PdCo-C/RGO	125
2.15 PdCo-H/RGO	125
2.16 PdCo-CH/RGO	126
LAMPIRAN 3 DATA RAMAN	126
3.1 GO-3,5/6	126
3.2 RGO-HP	127
3.3 RGO-SK	127
3.4 RGO-MW	128
3.5 Pd/RGO	128
3.6 Co/RGO	129
3.7 PdCo/RGO	129
3.8 PdCo-C/RGO	130
3.9 PdCo-H/RGO	130

3.10 PdCo-CH/RGO	131
LAMPIRAN 4 DATA SAA	131
4.1 Grafit	131
4.2 GO-3,5/6	132
4.3 RGO-HP	132
4.4 RGO-SK	133
4.5 RGO-MW	133
4.6 Pd/RGO	134
4.7 Co/RGO	134
4.8 PdCo/RGO	135
4.9 PdCo-C/RGO	135
4.10 PdCo-H/RGO	136
4.11 PdCo-CH/RGO	136
LAMPIRAN 5 DATA EDX	137
5.1 Grafit	137
5.2 GO-0,5	137
5.3 GO-2,0	138
5.4 GO-3,5	138
5.5 GO-5,0	139
5.6 GO-6,0	139
5.7 GO-3,5/6	140
5.8 RGO-HP	140
5.9 RGO-SK	141
5.10 RGO-MW	141
5.11 Pd/RGO	142
5.12 Co/RGO	142
5.13 PdCo/RGO	143
5.14 PdCo-C/RGO	143
5.15 PdCo-H/RGO	144
5.16 PdCo-CH/RGO	144
LAMPIRAN 6 KONDUKTIVITAS LISTRIK	145
6.1 Grafit	145
6.2 GO-3,5/6	146
6.3 RGO-HP	147
6.4 RGO-SK	148
6.5 RGO-MW	149
6.6 Pd/RGO	150
6.7 Co/RGO	151
6.8 PdCo/RGO	152
6.9 PdCo-C/RGO	153
6.10 PdCo-H/RGO	154
6.11 PdCo-CH/RGO	155

DAFTAR PUBLIKASI

Jenis	Judul	Nama	Status
Jurnal internasional	<i>The Study of Partially and Fully Oxidized Graphene Oxide Prepared by Green Synthesis for Wide-Scale Fabrication</i>	Rasayan Journal of Chemistry	<i>Published</i> (2021) Vol. 14, No. 3, Hlm. 2129-2135 DOI: 10.31788/RJC.2021.1436004
	<i>The Influence of Permanganate Enhancement to Graphite on Chemical Structure and Properties of Graphene Oxide Material Generated by Improved Tour Method</i>	Indonesian Journal of Chemistry	<i>Published</i> (2021) Vol. 21, No. 5, Hlm. 1086-1096 DOI: 10.22146/ijc.57423
	<i>Investigation of Various Reduction Instruments for Enhancing the Electrical Conductivity of Reduced Graphene Oxide</i>	Journal of Mathematical and Fundamental Sciences	<i>Under Review</i>
Paten	Proses Pembuatan Material Grafena Oksida-3,5 dan Material Grafena Oksida-3,5	Hak Kekayaan Intelektual, Kemenkumham RI	<i>Granted</i> No. Paten: IDP000083283