



## DAFTAR ISI

<b>DISERTASI</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b>	<b>iii</b>
<b>PRAKATA</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR PUBLIKASI</b>	<b>xi</b>
<b>INTISARI</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	5
1.3 Keaslian Penelitian	5
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA, PERUMUSAN HIPOTESIS DAN RANCANGAN PENELITIAN</b>	<b>8</b>
II.1 Tinjauan Pustaka	8
II.1.1 Titania ( $\text{TiO}_2$ )	8
II.1.2 Aplikasi $\text{TiO}_2$ sebagai sensor gas	11
II.1.3 Doping pada $\text{TiO}_2$ sebagai bahan sensor gas	12
II.1.4 Peparasi $\text{TiO}_2$ terdoping Ni dengan metode sol-gel dan kalsinasi	15
II.1.5 Substrat keramik/alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	18
II.1.6 Pembuatan lapis tipis $\text{TiO}_2$ <i>doped</i> Ni menggunakan teknik <i>Dip-Coating</i>	19
II.1.7 Kinerja sensor gas $\text{TiO}_2$ <i>doped</i> Ni	22
II.1.8 Karakterisasi $\text{TiO}_2$ anatas terdoping logam nikel	23
II.1.9 Mikrokontroler Arduino	30
II.2 Perumusan Hipotesis	33
II.2.1 Perumusan hipotesis 1	33
II.2.2 Perumusan hipotesis 2	34
II.2.3 Perumusan hipotesis 3	34
II.2.4 Perumusan hipotesis 4	35
II.3 Rancangan penelitian	35
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	<b>37</b>
III.1 Bahan-bahan Penelitian	37



<b>III.2 Alat-alat Penelitian</b>	37
<b>III.3 Prosedur Penelitian</b>	37
III.3.1 Sintesis dan preparasi $TiO_2$ <i>doped</i> Ni	37
III.3.2 Deposisi film tipis $TiO_2$ <i>doped</i> Ni	38
III.3.3 Karakterisasi film tipis $TiO_2$ <i>doped</i> Ni	38
III.3.4 Konektivitas sensor $TiO_2$ <i>doped</i> Ni dengan modul FCC-22	39
III.3.5 Penentuan suhu operasi sensor	40
III.3.6 Kalibrasi sensor $TiO_2$ <i>doped</i> Ni	41
III.3.7 Pengukuran gas CO menggunakan sensor gas $TiO_2$ <i>doped</i> Ni	45
III.3.8 Aplikasi sensor gas $TiO_2$ <i>doped</i> Ni	46
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	48
IV.1 Preparasi $TiO_2$ <i>doped</i> Ni pada substrat $Al_2O_3$ dengan Metode <i>dip Coating</i>	48
IV.1.1 Proses Doping Ni pada $TiO_2$	48
IV.1.2 Pelapisan $TiO_2$ <i>doped</i> Ni pada $Al_2O_3$	49
IV.2 Karakterisasi	50
IV.2.1 Pengaruh kadar Ni yang didopingkan terhadap karakter sensor $TiO_2$ <i>doped</i> Ni/ $Al_2O_3$	50
IV.2.2 Pengaruh pH proses doping terhadap karakter sensor $TiO_2$ - Ni/ $Al_2O_3$	58
IV.3. Realisasi Perancangan Portabel Sensor Gas CO dari $TiO_2$ <i>doped</i> Ni.	67
IV.4 Uji Aktivitas $TiO_2$ <i>doped</i> Ni Sebagai Sensor Gas CO	69
IV.4.1 Pengaruh kadar Ni dalam sensor $TiO_2$ <i>doped</i> Ni/ $Al_2O_3$	69
IV.4.2 Pengaruh pH proses doping terhadap aktivitas sensor $TiO_2$ <i>doped</i> Ni/ $Al_2O_3$	71
IV.4.3 Pengaruh suhu proses sensing terhadap sensitivitas sensor $TiO_2$ <i>doped</i> Ni/ $Al_2O_3$	72
IV.4.4 Pengaruh suhu proses sensing terhadap selektivitas sensor $TiO_2$ <i>doped</i> Ni/ $Al_2O_3$	75
IV.4.6 Limit deteksi (LoD) dan Ketelitian Sensor $TiO_2$ <i>doped</i> Ni	77
IV.4.7 Aplikasi sensor Ni <i>doped</i> $TiO_2$ pada kendaraan bermotor	78
IV.4.8 Pengujian usia operasi sensor	80
<b>BAB V KESIMPULAN</b>	83
V.1 Kesimpulan	83
V.2 Saran	83
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	84
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b>	94

## DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1	Data ISPU (Indeks Pencemaran Udara) Tahun 2019	2
Gambar II.1	Band gap (energi celah pita) $\text{TiO}_2$	9
Gambar II.2	Proses fotokatalisis $\text{TiO}_2$	9
Gambar II.3	Struktur anatas $\text{TiO}_2$	10
Gambar II.4	Struktur rutil $\text{TiO}_2$	10
Gambar II.5	Ilustrasi penurunan <i>band gap</i> $\text{TiO}_2$ dengan cara doping menggunakan logam Ni	122
Gambar II.6	Skema dari material sensor $\text{TiO}_2$	13
Gambar II.7	Proses adsorpsi oksigen oleh gas CO menjadi $\text{CO}_2$	133
Gambar II.8	Semikonduktor tipe-p	144
Gambar II.9	a) Tanggapan molekul-molekul $\text{TiO}_2$ : Ni terhadap $\text{O}_2$ dan b) Gas pereduksi	144
Gambar II.10	Kembalinya elektron yang diikat oleh oksigen menjadi elektron bebas dan memperkecil lebar lapisan deplesi (L).	155
Gambar II.11	Mekanisme reaksi hidrolisis-kondensasi metode sol-gel	166
Gambar II.12	Struktur kristal mineral korondum alumina	188
Gambar II.13	Struktur $\alpha$ -alumina	199
Gambar II.14	Tahapan pelapisan celup	2020
Gambar II.15	Skema Proses <i>dip coating</i>	211
Gambar II.16	Difraktogram XRD dari $\text{TiO}_2$	244
Gambar II.17	Spektra FT-IR dari Ni-doped $\text{TiO}_2$	255
Gambar II.18	UV-Vis <i>diffuse reflectance spectra</i> (DRS) dari: a) 0 to 0.9 % and b) 0 to 10 % $\text{TiO}_2$ doped Ni pada suhu 450 °C selama 6 jam	277
Gambar II.19	Mikrograf SEM dari Ni doped $\text{TiO}_2$ (a) Ni 0,1%, (b) Ni 0,5%, (c) Ni 1 %, (d) Ni 5% dan (e) Ni 10%	299
Gambar II.20	Spektra EDAX dari $\text{TiO}_2$ doped Ni pada penambahan Ni 5% dengan suhu kalsinasi 450 °C selama 6 jam	3030
Gambar II.21	Mikrokontroler Arduino	311
Gambar II.22	Pin elektroda sensor gas	322
Gambar II.23	Konektivitas sensor gas dan Arduino	322
Gambar III.1	Skema pemasangan sensor pada modul FC-22	399
Gambar III.2	Pemasangan Heater Pada sensor $\text{TiO}_2$ doped Ni	40
Gambar III.3	Skema rangkaian tahanan dan sensor $\text{TiO}_2$ doped Ni	411
Gambar III.4	Rangkaian sensor $\text{TiO}_2$ doped Ni dan Arduino R3	422
Gambar III.5	Kode Library untuk mencari nilai "VRL" dan "Volt"	43
Gambar III.6	Kode <i>library</i> untuk mencari nilai RS pada sistem Arduino	433
Gambar III.7	kode <i>library</i> untuk mencari kadar ppm pada Arduino	444
Gambar III.8	Bentuk tampilan multimeter UNI-UTT 61E pada layar komputer	455
Gambar III.9	Mekanisme pengukuran gas CO	46
Gambar III.10	Bentuk Software Parallax DAQ	477
Gambar IV.1	Penampang sensor Ni doped $\text{TiO}_2$	50
Gambar IV.2	Spektra UVDRS dari $\text{TiO}_2$ doped Ni pada variasi kadar Ni dan pH 7	511
Gambar IV.3	Pola XRD dari $\text{TiO}_2$ doped Ni pada pH 7 Vs variasi kadar Ni	522



Gambar IV.4 Spektra FT-IR dari a) $TiO_2$ tanpa Ni dan $TiO_2$ doped Ni pada pH 7 dan kadar Ni: (a) 5 mg/g $TiO_2$ , (b) 10 mg/g $TiO_2$ , (c) 15 mg/g $TiO_2$ (d) 20 mg/g $TiO_2$ , (e) 25 mg/g $TiO_2$	555
Gambar IV.5 Morfologi permukaan sensor Ni doped $TiO_2$ dengan kadar Ni yang bervariasi (perbesaran x 10.000)	576
Gambar IV.6 Spektra EDX dari $TiO_2$ dan $TiO_2$ doped Ni dengan variasi kadar Ni dan pH 7	57
Gambar IV.7 Spektra UVDRS dari $TiO_2$ doped Ni pada variasi pH dan kadar Ni 20 mg/g $TiO_2$	599
Gambar IV.8 Spektrum FT-IR dari (a) $TiO_2$ tanpa Ni serta $TiO_2$ doped Ni dengan kadar Ni 20 mg/g $TiO_2$ dan pH (b) pH 2, (c) pH 4, (d) pH 7, dan (e) pH 9	61
Gambar IV.9 Spektra FT-IR dari kadar Ni 20 mg/g $TiO_2$ dan variasi pH (a) 2, (b) 4, (c) 7, dan (d) 9	644
Gambar IV.10 Morfologi permukaan sensor Ni doped $TiO_2$ dengan perbesaran x 10.000	65
Gambar IV.11 Spektra EDX dari $TiO_2$ tanpa Ni dan $TiO_2$ doped Ni dengan variasi pH dan konsentrasi logam Ni 20 mg/g $TiO_2$	66
Gambar IV.12 Realisasi rancang bangun alat ukur gas CO dari sensor $TiO_2$ doped Ni	688
Gambar IV.13 Portabel sensor gas CO	69
Gambar IV.14 Pengaruh kadar dopan Ni terhadap nilai resistansi sensor $TiO_2$ doped Ni	7070
Gambar IV.15 Skema sensing gas CO oleh $TiO_2$ doped Ni maupun $TiO_2$	711
Gambar IV.16 Pengaruh pH proses doping terhadap resistansi sensor dari $TiO_2$ doped Ni/ $Al_2O_3$	722
Gambar IV.17 Pengaruh suhu proses sensing terhadap sensitivitas sensor dari $TiO_2$ doped Ni/ $Al_2O_3$ pada variasi pH, Ni 20 mg/g $TiO_2$ dan Volume gas CO 10 mL.	733
Gambar IV.18 Grafik perbandingan nilai karakterisasi sensitivitas sensor CO	74
Gambar IV.19 Data sensing $TiO_2$ doped Ni pada berbagai gas	766
Gambar IV.20 Data $R_s/R_o$ dari pengukuran gas CO	77
Gambar IV.21 Kurva regresi linear dari deteksi gas CO oleh sensor $TiO_2$ doped Ni	788
Gambar IV.22 Hasil pengukuran buangan gas kendaraan (mobil) pada saat: a) sebelum diservis b) setelah diservis	799
Gambar IV.23 Perbandingan sensing dari $TiO_2$ doped Ni Vs sensor AS8700A berdasarkan [CO] 110,44 ppm dan lamanya waktu uji	8080
Gambar IV.24 Perbandingan sensing dari $TiO_2$ doped Ni Vs sensor AS8700A berdasarkan [CO] 220,88 ppm dan lamanya waktu uji	811
Gambar IV.24 Perbandingan sensing dari $TiO_2$ doped Ni Vs sensor AS8700A berdasarkan [CO] 331,32 ppm dan lamanya waktu uji	811



## DAFTAR TABEL

Tabel I.1	Perbandingan sifat fisik dari anatas dengan rutil	10
Tabel II.2	Deskripsi Arduino	31
Tabel IV.1	Nilai $E_g$ dari variasi kadar Ni dan konsentrasi larutan sol gel pH 7	51
Tabel IV.2	Posisi $2\theta$ , jarak antar lapis serta ukuran kristal dari $\text{TiO}_2$ <i>doped</i> Ni	53
Tabel IV.3	Pengaruh massa Ni yang didoping terhadap jumlah Ni yang terdoping	58
Tabel IV.4	Pengaruh pH proses doping terhadap nilai $E_g$ dari $\text{TiO}_2$ <i>doped</i> Ni dengan kadar Ni 20 mg/g $\text{TiO}_2$	60
Tabel IV.5	Perhitungan Nilai Ksp dari $\text{Ni}(\text{OH})_2$	60
Tabel IV.6	Posisi $2\theta$ , jarak antar lapis serta ukuran kristal dari $\text{TiO}_2$ <i>doped</i> Ni	62
Tabel IV.7	Persen massa Ni pada permukaan $\text{TiO}_2$ pada Variasi pH dan Ni 20 mg/g	67
Tabel IV.8	Data $R_s/R_o$ sensor $\text{TiO}_2$ dan data $R_s/R_o$ dari datasheet sensor terkalibrasi	75
Tabel IV.9	Nilai standard deviasi sensor $\text{TiO}_2$ <i>doped</i> Ni dan sensor AS8700A dari usia sensor $V_s$ gas CO	82