

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Gambar 2.1. Contoh produk <i>PEM fuel cell stack</i> .....	9
2. Gambar 2.2. Prinsip kerja <i>fuel cell</i> . .....	13
3. Gambar 2.3. Prinsip kerja <i>PEM fuel cell</i> .....	15
4. Gambar 2.4. Karakteristik arus dan tegangan <i>PEM fuel cell</i> . .....	22
5. Gambar 2.5. Karakteristik arus dan daya <i>PEM fuel cell</i> .....	23
6. Gambar 2.6. Hubungan temperatur terhadap tegangan <i>PEM fuel cell</i> ..	24
7. Gambar 2.7. Hubungan temperatur terhadap tegangan <i>PEM fuel cell</i> ..	25
8. Gambar 2.8. Hubungan tekanan terhadap tegangan <i>PEM fuel cell</i> .....	26
9. Gambar 2.9. Hubungan jumlah sel terhadap tegangan <i>PEM fuel cell</i> ...	26
10. Gambar 2.10. Rangkaian ekuivalen <i>PEM fuel cell</i> .....	28
11. Gambar 2.11. <i>Proton exchange membrane fuel cell Horizon H-100</i> ....	29
12. Gambar 2.12. Karakteristik arus dan tegangan <i>PEM fuel cell Stack Horizon H-100</i> .....	30
13. Gambar 2.13. Karakteristik arus dan daya <i>PEM fuel cell Stack Horizon H-100</i> .....	31
14. Gambar 2.14. Karakteristik konsumsi hidrogen dan daya <i>PEM fuel cell Stack Horizon H-100</i> .....	31
15. Gambar 2.15. Topologi sederhana rangkaian <i>Buck converter</i> . .....	31

16. Gambar 2.16. Rangkaian ekuivalen <i>Buck converter</i> pada keadaan sakelar tertutup .....	33
17. Gambar 2.17. Rangkaian ekuivalen <i>Buck converter</i> pada keadaan sakelar terbuka.....	33
18. Gambar 2.18. Arduino Mega 2560.....	36
19. Gambar 2.19. Model kontroler PID.....	37
20. Gambar 2.20. Kurva S analisa grafis <i>Ziegler Nichols</i> .....	38
21. Gambar 2.21. Konfigurasi pin IC HCPL 3120.....	39
22. Gambar 2.22. Sistem minimum IC HCPL 3120.....	40
23. Gambar 3.1. Diagram alir penelitian rancang bangun simulator <i>PEM fuel cell</i> .....	44
24. Gambar 3.2. Model matematik persamaan nernst pada <i>PEM fuel cell</i> .	46
25. Gambar 3.3. Model matematik rugi-rugi aktivasi dan arus internal pada <i>PEM fuel cell</i> .....	48
26. Gambar 3.4. Model matematik rugi resistansi (ohmik) pada <i>PEM fuel cell</i> .....	49
27. Gambar 3.5. Model matematik rugi konsentrasi ( <i>concentration losses</i> ) pada <i>PEM fuel cell</i> .....	50
28. Gambar 3.6. Model matematik konversi jumlah hidrogen ke dalam arus maksimum pada <i>PEM fuel cell</i> .....	51
29. Gambar 3.7. Model <i>PEM fuel cell</i> menggunakan program Simulink MATLAB.....	53
30. Gambar 3.8. Model Generator Modulasi Lebar Pulsa (PWM) .....	54
31. Gambar 3.9. Model <i>Buck converter</i> pada Simulink MATLAB .....	55

32. Gambar 3.10. Model simulasi Pengontrol P-I.....	56
33. Gambar 3.11. Pemodelan dan simulasi simulator <i>PEM fuel cell</i> .....	58
34. Gambar 3.12. Blok diagram prinsip kerja simulator <i>PEM fuel cell</i> .....	63
35. Gambar 3.13. Blok diagram simulator <i>PEM fuel cell</i> .....	64
36. Gambar 3.14. Hasil rancangan rangkaian catu daya utama <i>Buck converter</i> .....	65
37. Gambar 3.15. Hasil rancangan <i>Buck converter</i> .....	66
38. Gambar 3.16. Hasil rancangan sensor tegangan.....	67
39. Gambar 3.17. Hasil rancangan sensor arus .....	69
40. Gambar 3.18. Perancangan Rangkaian <i>Push Button</i> Dan <i>Keypad</i> .....	70
41. Gambar 3.19. Hasil rancangan rangkaian penguat ( <i>gate driver</i> ).....	71
42. Gambar 3.20. Hasil rancangan rangkaian simulator <i>PEM fuel cell</i> .....	72
43. Gambar 4.1. Rangkaian catu daya utama .....	78
44. Gambar 4.2. Rangkaian <i>Buck converter</i> dan sensor.....	79
45. Gambar 4.3. Antarmuka masukan dan keluaran .....	80
46. Gambar 4.4. Rangkaian simulator <i>PEM fuel cell</i> keseluruhan.....	81
47. Gambar 4.5. Rangkaian pengujian <i>gate driver</i> .....	82
48. Gambar 4.6. Bentuk sinyal kontrol (warna kuning) dan sinyal keluaran <i>gate driver</i> .....	83
49. Gambar 4.7. Gelombang ripple tegangan keluaran <i>Buck converter</i> .....	85
50. Gambar 4.8. Fungsi tombol aplikasi menu.....	86
51. Gambar 4.9. Perbandingan karakteristik arus dan tegangan antara hasil pemodelan simulasi dengan hasil simulator <i>PEM fuel cell</i> pada mode <i>baseline</i> .....	94

52. Gambar 4.10. Perbandingan karakteristik arus dan daya antara hasil pemodelan simulasi dengan hasil simulator <i>PEM fuel cell</i> pada mode <i>baseline</i> .....	95
53. Gambar 4.11. Perbandingan karakteristik arus dan tegangan antara hasil pemodelan simulasi dengan hasil simulator <i>PEM fuel cell</i> pada mode nilai tengah ( <i>middle</i> ) .....	97
54. Gambar 4.12. Perbandingan karakteristik arus dan daya antara hasil pemodelan simulasi dengan hasil simulator <i>PEM fuel cell</i> pada mode nilai tengah ( <i>middle</i> ) .....	99
55. Gambar 4.13. Perbandingan karakteristik arus dan tegangan antara hasil pemodelan simulasi dengan hasil simulator <i>PEM fuel cell</i> pada mode maksimum.....	102
56. Gambar 4.14. Perbandingan karakteristik arus dan daya antara hasil pemodelan simulasi dengan hasil simulator <i>PEM fuel cell</i> pada mode maksimum.....	103
57. Gambar 4.15. Perbandingan karakteristik arus dan tegangan antara hasil pemodelan simulasi dengan hasil simulator <i>PEM fuel cell</i> pada mode setengah total sel .....	106
58. Gambar 4.16. Perbandingan karakteristik arus dan daya antara hasil pemodelan simulasi dengan hasil simulator <i>PEM fuel cell</i> pada mode setengah total sel .....	107
59. Gambar 4.17. Perbandingan karakteristik arus dan tegangan antara hasil pemodelan, simulator <i>PEM fuel cell</i> yang dibuat dan <i>PEM Fuel Cell Stack Horizon H-100</i> .....	110

60. Gambar 4.18. Perbandingan karakteristik arus dan daya antara simulator <i>PEM fuel cell</i> yang dibuat dan <i>PEM Fuel Cell Stack Horizon H-100</i> .	111
61. Gambar 4.19. Karakteristik Arus dan Tegangan Terhadap Perubahan Temperatur Hasil Simulator <i>PEM Fuel Cell</i> yang Dibuat.....	113
62. Gambar 4.20. Karakteristik Arus dan Daya Terhadap Perubahan Temperatur Hasil Simulator <i>PEM Fuel Cell</i> yang Dibuat.....	113
63. Gambar 4.21. Karakteristik Arus dan Tegangan Terhadap Perubahan	
64. Tekanan Hidrogen Hasil Simulator <i>PEM Fuel Cell</i> yang Dibuat .....	116
65. Gambar 4.22. Karakteristik Arus dan Daya Terhadap Perubahan Tekanan Hidrogen Hasil Simulator <i>PEM Fuel Cell</i> yang Dibuat .....	116
66. Gambar 4.23. Karakteristik Arus dan Tegangan Terhadap Perubahan Jumlah Sel Hasil Simulator <i>PEM Fuel Cell</i> yang Dibuat.....	119
67. Gambar 4.24. Karakteristik Arus dan Daya Terhadap Perubahan Jumlah Sel Hasil Simulator <i>PEM Fuel Cell</i> yang Dibuat .....	119