UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Implementasi Filter Digital IIR Butterworth Orde Empat Berbasis Biquad Cascade pada FPGA Basys3
Adji Pangestu, Ir. Agus Bejo, S.T., M.Eng., D.Eng., IPM.; Dzuhri Radityo Utomo, S.T, M.E., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
HALAMAN PERSEMBAHAN iv
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR SINGKATAN xii
INTISARI xiii
ABSTRACT xiv
BAB I Pendahuluan 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Batasan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 4
1.6 Sistematika Penulisan 4
BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori 5
2.1 Tinjauan Pustaka 5
2.2 Dasar Teori 8
2.2.1 Pengolahan Sinyal Digital 8
2.2.2 Filter Digital 9
2.2.3 Respons Frekuensi Filter 10
2.2.4 Filter FIR dan IIR 13
2.2.4.1 *Finite Impulse Response* (FIR) 13
2.2.4.2 Infinite Impulse Response (IIR) 14
2.2.5 Filter Butterworth 16
2.2.6 Struktur *Biquad* 19
2.2.7 Koefisien Filter Digital 21
2.2.8 *fixed-point Arithmetic* 23
2.2.9 FPGA Board Basys3 25
2.2.10 *Timing* dan *Power Analysis* FPGA 27
2.2.10.1 *Timing Analysis* 28
2.2.10.2 *Resource Utilization Analysis* 29
2.2.10.3 *Power Analysis* 29
2.2.11 UART 30

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Implementasi Filter Digital IIR Butterworth Orde Empat Berbasis Biquad Cascade pada FPGA Basys3
Adji Pangestu, Ir. Agus Bejo, S.T., M.Eng., D.Eng., IPM.; Dzuhri Radityo Utomo, S.T, M.E., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.2.12 *Fast Fourier Transform* (FFT) 32
2.3 Analisis Perbandingan Metode 34
BAB III Metode Penelitian 37
3.1 Alat dan Bahan Tugas akhir 37
3.1.1 Alat Tugas akhir 37
3.1.2 Bahan Tugas akhir 37
3.2 Metode yang Digunakan 38
3.2.1 Perancangan Filter Butterworth 38
3.2.2 Perhitungan dan Konversi Koefisien *fixed-point* 41
3.2.3 Implementasi Struktur Biquad Cascade 43
3.2.4 Perancangan Arsitektur FPGA 45
3.2.4.1 Modul *Clock Generator* 46
3.2.4.2 Modul *Baud Rate Generator* 46
3.2.4.3 Modul UART *receiver* 48
3.2.4.4 Modul UART *transmitter* 51
3.2.4.5 Modul Filter Biquad 55
3.2.4.6 Modul Register Koefisien Filter 57
3.2.4.7 Modul *Seven-Segment Display* 61
3.2.4.8 Modul Filter Top 62
3.2.5 Implementasi Komunikasi UART 69
3.2.6 Metode Pengujian Sistem 71
3.2.7 Analisis FFT dan Respons Frekuensi 75
3.2.8 Analisis Implementasi FPGA 77
3.3 Alur Tugas Akhir 78
3.4 Etika, Masalah, dan Keterbatasan Penelitian 80
BAB IV Hasil dan Pembahasan 81
4.1 Perancangan dan Implementasi Filter *Biquad Cascade* 81
4.1.1 Hasil Perancangan Filter 81
4.1.2 Implementasi Sistem 85
4.1.3 Implementasi Modul Verilog 86
4.2 Validasi dan Analisis Respons Frekuensi 88
4.2.1 Validasi Sinyal Hardware dengan Menggunakan Serial Oscilloscope 89
4.2.2 Akuisisi Data dan Analisis FFT 96
4.2.3 Pengujian *Low-Pass* Filter (LPF) 97
4.2.4 Pengujian *High-Pass* Filter (HPF) 99
4.2.5 Pengujian *Band-Pass* Filter (BPF) 101
4.2.6 Pengujian *Band-Stop* Filter (BSF) 101
4.3 Analisis Implementasi Perangkat Keras FPGA 102

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Implementasi Filter Digital IIR Butterworth Orde Empat Berbasis Biquad Cascade pada FPGA Basys3
Adji Pangestu, Ir. Agus Bejo, S.T., M.Eng., D.Eng., IPM.; Dzuhri Radityo Utomo, S.T, M.E., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.3.1 *Timing Analysis* 103
4.3.2 *Resource Utilization* 104
4.3.3 *Power Analysis* 105
4.4 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Hasil Terdahulu 107
BAB V Kesimpulan dan Saran 110
5.1 Kesimpulan 110
5.2 Saran 111
DAFTAR PUSTAKA 112
LAMPIRAN L-1
L.1 Tautan *Source Code* sistem L-1
L.2 Koefisien Filter Digital L-1
L.2.1 LPF 500 Hz L-1
L.2.2 LPF 800 Hz L-2
L.2.3 LPF 1000 Hz L-2
L.2.4 HPF 500 Hz L-3
L.2.5 HPF 800 Hz L-3
L.2.6 HPF 1000 Hz L-4
L.2.7 BPF 500-1000 Hz L-4
L.2.8 BSF 500-1000 Hz L-5
L.3 Hasil Pengujian Serial Oscilloscope L-6
L.3.1 LPF dengan Frekuensi Cutoff 500 Hz L-6
L.3.2 LPF dengan Frekuensi Cutoff 800 Hz L-8
L.3.3 HPF dengan Frekuensi Cutoff 500 Hz L-10
L.3.4 HPF dengan Frekuensi Cutoff 800 Hz L-12
L.3.5 HPF dengan Frekuensi Cutoff 1000 Hz L-14
L.3.6 BPF dengan Rentang Frekuensi 500–1000 Hz L-16
L.3.7 BSF dengan Rentang Frekuensi 500–1000 Hz L-18