

**APLIKASI ALGORITMA LMS (*LEAST MEAN SQUARE*) SEBAGAI
EQUALISASI SINYAL SECARA ADAPTIF DENGAN
MENGUNAKAN TMS320C6713**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

RIZA GHOZLINA INDANARTHA

NIM: 0610630093 - 63

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2010

LEMBAR PERSETUJUAN

**APLIKASI ALGORITMA LMS (*LEAST MEAN SQUARE*) SEBAGAI
EQUALISASI SINYAL SECARA ADAPTIF DENGAN
MENGUNAKAN TMS320C6713**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik



Disusun Oleh :

RIZA GHOZLINA INDANARTHA
NIM: 0610630093 - 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh

Dosen Pembimbing

Ir. Wahyu Adi P, MSc
NIP 19600518 198802 1 001

Ali Mustofa, ST., MT
NIP 19710601 200003 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

APLIKASI ALGORITMA LMS (*LEAST MEAN SQUARE*) SEBAGAI EQUALISASI SINYAL SECARA ADAPTIF DENGAN MENGUNAKAN TMS320C6713

Disusun Oleh :

RIZA GHOZLINA INDANARTHA

NIM: 0610630093 - 63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
pada tanggal **14 Desember 2010**

Majelis Penguji :

M. Fauzan Edy P., ST., MT.

NIP 19710609 200002 1 001

Gaguk Asmungi., ST., MT.

NIP 19670627 199802 1 001

Rusmi Ambarwati, ST., MT.

NIP 19720204 200003 2 002

Mengetahui :

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Rudy Yuwono, ST., MSc.

NIP. 19710615 199802 1 003

PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT. atas rahmat, hidayah, ridho, nikmat, dan karunia-Nya serta kekuatan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “*Aplikasi Algoritma LMS (Least Mean Square) sebagai Equalisasi Sinyal secara Adaptif dengan Menggunakan TMS320C6713*” dengan lancar dan baik.

Selama penyelesaian skripsi ini penulis menyadari adanya dorongan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih terutama kepada Bapak Ir. Wahyu Adi Priyono, MSc. dan Bapak Ali Mustofa, ST., MT. sebagai dosen pembimbing atas saran, konsultasi, kesabaran, waktu dan perhatiannya dalam proses pengerjaan hingga penyelesaian skripsi ini. Tidak terkecuali, penulis juga ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Keluarga tercinta,

Ayahanda Dwi Sunarto, Ibunda Indayati, adik-adikku Nisrina Farah Indanartha dan Novien Ghoziana Indanartha, serta nenekku Choiriyah yang selalu memberikan doa, kasih sayang, semangat, dukungan dan kepercayaan yang tiada akhir hingga hari ini.

2. Bapak Rudy Yuwono ST., MSc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D. selaku Sekertaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

3. Ibu Ir. Endah Budi P., MT dan Ibu Rusmi Ambarwati, ST., MT. selaku Kepala dan mantan Kepala Laboratorium Telekomunikasi Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

4. Bapak Waru Djuriatno, ST.,MT., selaku dosen penasehat akademik selama kuliah yang banyak memberikan pengarahan serta bimbingan akademik.

5. Bapak, Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro

6. Danny Ariestya Yudha Pratama yang telah memberikan doa, kasih sayang, semangat dan dukungan tiada henti kepada penulis.

7. Sahabat-sahabat terbaikku, Sekar, Sirtufil, Intan, Asih, Yulita, Widya, Nurul, dan keluarga besar Angkatan 2006 (Ge-Force) terima kasih atas persahabatan, semangat, dan untuk segalanya.

8. Rekan-rekan asisten Laboratorium Telekomunikasi '06 (terutama Ma'sum), '04 (terutama Mas Reza, Mbak Qori, Mas Agus), '05, dan '07 yang banyak memberikan nasehat, saran, serta kerjasamanya selama ini.
9. Keluarga besar Perum Uniga 13 yang banyak memberikan dukungan, nasehat, saran serta semangat selama ini.
10. Serta rekan-rekan lain yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa yang tersusun dalam skripsi ini masih banyak kekurangan-kekurangan dan jauh dari sempurna. Karena itu kritik dan saran sangat kami harapkan demi kesempurnaan maupun pengembangan penulisan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa khususnya dan bagi seluruh pembaca pada umumnya.

Malang, 14 Desember 2010

Penulis



DAFTAR ISI

PENGANTAR..... i
DAFTAR ISI..... iii
DAFTAR TABEL..... viii
DAFTAR GAMBAR..... ix
DAFTAR LAMPIRAN xii
ABSTRAK..... xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah..... 3
1.4 Tujuan..... 4
1.5 Kontribusi..... 4
1.6 Sistematika Penulisan..... 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum..... 6
2.2 Filter Digital 6
 2.2.1 Filter Digital IIR (*Infinite Impulse Response*) 8
 2.2.2 Filter Digital FIR (*Finite Impulse Response*) 10
2.3 Filter Adaptif 11
2.4 Equalisasi Adaptif 14
2.5 TMS320C6713 17
 2.5.1 *Board* TMS320C6713 18
 2.5.2 *Analog to Digital Converter* 21
 2.5.2.1 *Sampling* 22
 2.5.2.2 Kuantisasi 23
 2.5.2.3 Pengkodean..... 23
 2.5.3 *Software* Pendukung TMS320C6713 24
 2.5.3.1 *BSL (Board Support Library)* 24
 2.5.3.2 *CSL (Chip Support Library)*..... 25



2.5.4 *Code Composer Studio* 25

2.6 Kanal Propagasi..... 25

2.6.1 Kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) 29

2.6.2 Kanal *Multipath Rayleigh Fading* 30

2.7 *Inter Symbol Interference (ISI)* 31

2.8 Parameter Performansi Sistem 32

2.8.1 SNR (*Signal to Noise Ratio*) 32

2.8.2 BER (*Bit Error Rate*) 32

2.9 *Microphone* 33

2.10 *Speaker* 33

2.11 *Sound Card*..... 34

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Pengambilan Data..... 35

3.1.1 Pengambilan Data Primer 35

3.1.2 Pengambilan Data Sekunder..... 35

3.2 Perancangan Equalisasi Adaptif Menggunakan TMS320C6713 36

3.2.1 Perancangan Blok Diagram..... 36

3.2.2 Perancangan Perangkat Keras..... 36

3.2.2 Perancangan Perangkat Lunak..... 37

3.3 Pengambilan Sinyal Sumber Suara Asli Melalui Proses Perekaman 38

3.4 Pengolahan Sinyal 38

3.3.1 *Sampling* 38

3.3.2 Pentransmisian Sinyal 39

3.3.3 Filtering Sinyal Hasil Pentransmisian 39

3.3.4 Pengurangan Sinyal Keluaran Filter dengan Sinyal Asli 39

3.3.5 Proses Adaptasi 39

3.5 Pengujian 41

3.5.1 Pengujian Kanal Transmisi Data 42

3.5.2 Pengujian Dua Kanal Masukan TMS320C6713 43

3.5.3 Pengujian Filter FIR 44

3.5.4 Pengujian Sinyal $e(n)$ 44

3.5.5 Pengujian Tombol Pilhan Output 45



3.5.6 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan 45

3.6 Analisis 46

3.6.1 Analisis SNR Sinyal Keluaran Kanal 46

3.6.2 Analisis SNR Sinyal Keluaran Filter Equalisasi Adaptif 46

3.6.3 Analisis BER Sistem Tanpa Equalisasi Adaptif 47

3.6.4 Analisis BER Sistem Dengan Equalisasi Adaptif 48

3.6.5 Analisis Besar penghapusan ISI (*Inter Symbol Interference*) 48

3.7 Kesimpulan dan Saran 48

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum 49

4.2 Perancangan Equalisasi Adaptif menggunakan TMS320C6713 49

4.2.1 Perancangan Blok Diagram 50

4.2.2 Perancangan Perangkat Keras 51

4.2.2.1 Komputer 53

4.2.2.2 *Sound Card* 54

4.2.2.3 *Microphone* 55

4.2.2.4 *Speaker* 55

4.2.2.5 Kabel USB 56

4.2.2.6 Konektor Mono R / L to Stereo 57

4.2.3 Perancangan Perangkat Lunak 58

4.2.3.1 Perancangan Besar *StepSize* (μ) 58

4.2.3.2 Perancangan Kanal Transmisi Data 60

4.2.3.3 Perancangan Dua Kanal Masukan TMS320C6713 61

4.2.3.4 Perancangan Struktur Filter FIR pada TMS320C6713 64

4.2.3.5 Perancangan Perhitungan Sinyal $e(n)$ 66

4.2.3.6 Perancangan Proses *Update* Koefisien Filter 67

4.2.3.7 Perancangan Tombol Pilihan Output pada TMS320C6713 70

4.3 Pengambilan Sumber Sinyal Suara 71

4.4 Pengujian dan Analisis 72

4.4.1 Pengujian Kanal Transmisi Data 73

4.4.1.1 Tujuan 73

4.4.1.2 Peralatan Pengujian 73



| | | |
|---------|---|----|
| 4.4.1.3 | Prosedur Pengujian | 73 |
| 4.4.1.4 | Hasil Pengujian | 75 |
| 4.4.1.5 | Analisis Hasil Pengujian | 76 |
| 4.4.1.6 | Kesimpulan dari Hasil Pengujian..... | 76 |
| 4.4.2 | Pengujian Dua Kanal Masukan pada TMS320C6713 | 76 |
| 4.4.2.1 | Tujuan | 76 |
| 4.4.2.2 | Peralatan Pengujian..... | 76 |
| 4.4.2.3 | Prosedur Pengujian | 76 |
| 4.4.2.4 | Hasil Pengujian | 78 |
| 4.4.2.5 | Analisis Hasil Pengujian | 78 |
| 4.4.2.6 | Kesimpulan dari Hasil Pengujian..... | 79 |
| 4.4.3 | Pengujian Filter FIR pada TMS320C6713 | 79 |
| 4.4.3.1 | Tujuan | 79 |
| 4.4.3.2 | Peralatan Pengujian..... | 79 |
| 4.4.3.3 | Prosedur Pengujian | 79 |
| 4.4.3.4 | Hasil Pengujian | 81 |
| 4.4.3.5 | Analisis Hasil Pengujian | 81 |
| 4.4.3.6 | Kesimpulan dari Hasil Pengujian..... | 81 |
| 4.4.4 | Pengujian Sinyal $e(n)$ pada TMS320C6713 | 82 |
| 4.4.4.1 | Tujuan | 82 |
| 4.4.4.2 | Peralatan Pengujian..... | 82 |
| 4.4.4.3 | Prosedur Pengujian | 82 |
| 4.4.4.4 | Hasil Pengujian | 84 |
| 4.4.4.5 | Analisis Hasil Pengujian | 84 |
| 4.4.4.6 | Kesimpulan dari Hasil Pengujian..... | 84 |
| 4.4.5 | Pengujian Tombol Pilihan Output pada TMS320C6713..... | 84 |
| 4.4.5.1 | Tujuan | 84 |
| 4.4.5.2 | Peralatan Pengujian..... | 85 |
| 4.4.5.3 | Prosedur Pengujian | 85 |
| 4.4.5.4 | Hasil Pengujian | 87 |
| 4.4.5.5 | Analisis Hasil Pengujian | 88 |
| 4.4.5.6 | Kesimpulan dari Hasil Pengujian..... | 89 |
| 4.4.6 | Pengujian Sistem secara Keseluruhan | 89 |

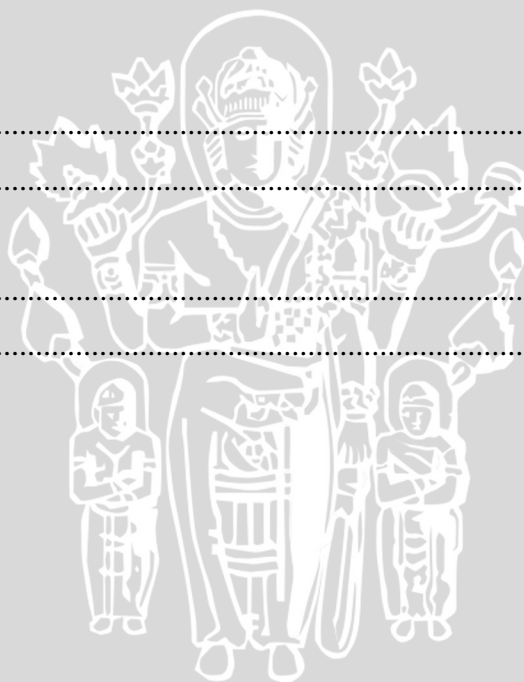
| | | |
|-----------|--|-----|
| 4.4.6.1 | Tujuan | 89 |
| 4.4.6.2 | Peralatan Pengujian..... | 89 |
| 4.4.6.3 | Prosedur Pengujian | 89 |
| 4.4.6.4 | Hasil Pengujian | 91 |
| 4.4.6.5 | Analisis Hasil Pengujian Sistem secara Keseluruhan | 93 |
| 4.4.6.5.1 | Analisis SNR Sinyal Asli..... | 93 |
| 4.4.6.5.2 | Analisis SNR Sinyal Terdistorsi Kanal..... | 94 |
| 4.4.6.5.3 | Analisis SNR Sinyal Output Sistem | 95 |
| 4.4.6.5.4 | Analisis BER Sinyal Terdistorsi Kanal..... | 97 |
| 4.4.6.5.5 | Analisis BER Sinyal Output Sistem | 97 |
| 4.4.6.5.6 | Analisis Besar Penghapusan ISI | 100 |
| 4.4.6.6 | Kesimpulan dari Hasil Pengujian Sistem secara Keseluruhan. | 101 |

BAB V PENUTUP

| | | |
|-----|-----------------|-----|
| 5.1 | Kesimpulan..... | 102 |
| 5.2 | Saran | 103 |

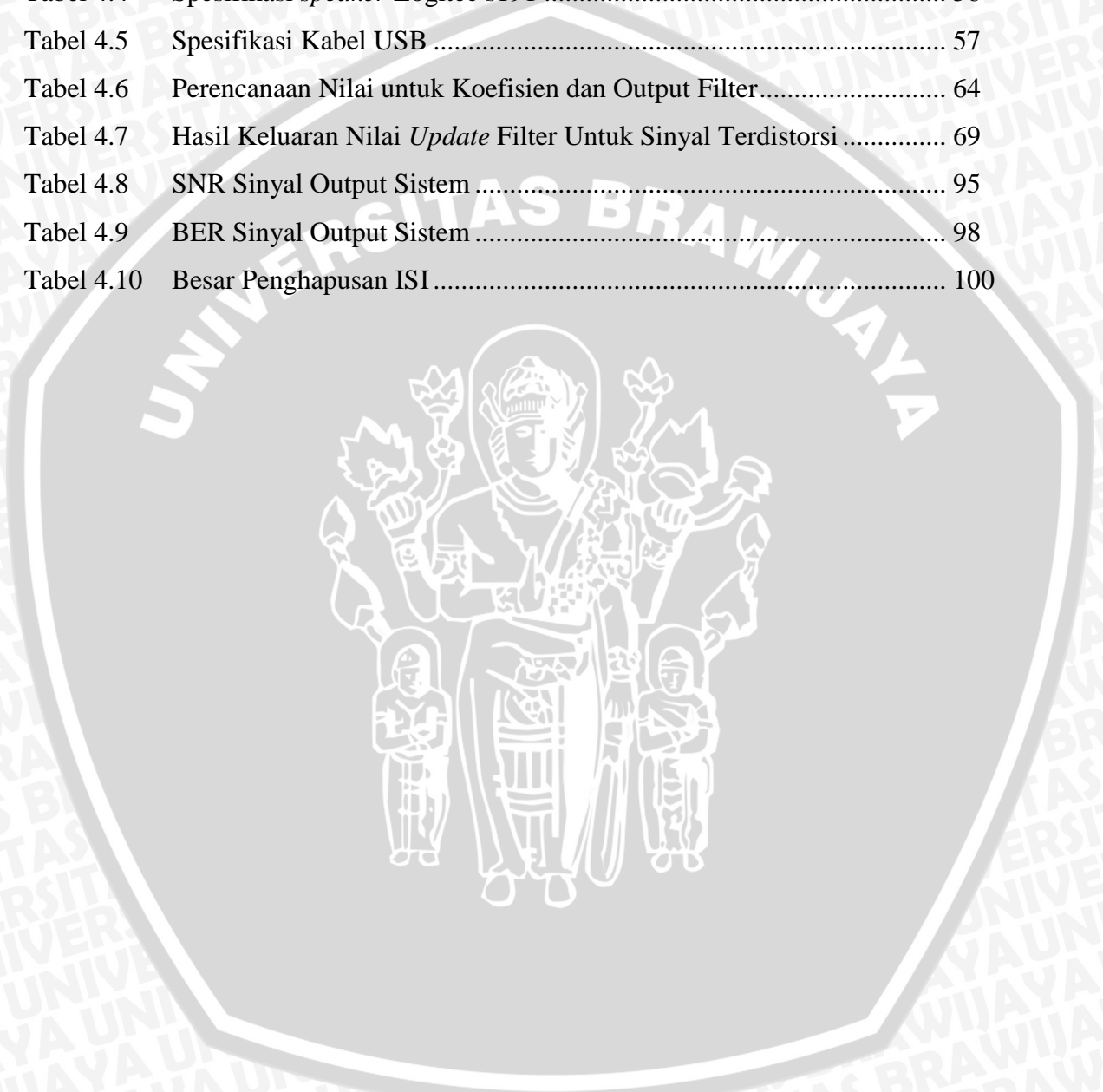
| | |
|-----------------------------|-----|
| DAFTAR PUSTAKA | 104 |
|-----------------------------|-----|

| | |
|-----------------------|-----|
| LAMPIRAN | 105 |
|-----------------------|-----|



DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|--|-----|
| Tabel 4.1 | Fungsi Perangkat Keras sebagai Equalisasi Adaptif | 52 |
| Tabel 4.2 | Spesifikasi Sound Card SigmaTel STAC9220..... | 54 |
| Tabel 4.3 | Spesifikasi Microphone B-938 | 55 |
| Tabel 4.4 | Spesifikasi <i>speaker</i> Logitech s191 | 56 |
| Tabel 4.5 | Spesifikasi Kabel USB | 57 |
| Tabel 4.6 | Perencanaan Nilai untuk Koefisien dan Output Filter..... | 64 |
| Tabel 4.7 | Hasil Keluaran Nilai <i>Update</i> Filter Untuk Sinyal Terdistorsi | 69 |
| Tabel 4.8 | SNR Sinyal Output Sistem | 95 |
| Tabel 4.9 | BER Sinyal Output Sistem | 98 |
| Tabel 4.10 | Besar Penghapusan ISI | 100 |



DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Jenis-jenis Filter..... | 7 |
| Gambar 2.2 | Pembagian Filter Berdasarkan Pemrosesan Sinyalnya | 7 |
| Gambar 2.3 | Proses pemfilteran secara digital..... | 8 |
| Gambar 2.4 | Struktur filter IIR..... | 9 |
| Gambar 2.5 | Struktur filter FIR..... | 10 |
| Gambar 2.6 | Blok diagram filter adaptif | 11 |
| Gambar 2.7 | Konfigurasi filter adaptif..... | 12 |
| Gambar 2.8 | Aplikasi filter adaptif untuk equalisasi adaptif | 15 |
| Gambar 2.9 | Ilustrasi distorsi kanal yang diikuti dengan equalizer..... | 16 |
| Gambar 2.10 | Pemrosesan sinyal digital..... | 17 |
| Gambar 2.11 | <i>Board</i> TMS320C6713 (a) <i>Board</i> (b) Diagram..... | 19 |
| Gambar 2.12 | Proses <i>Analog to Digital Converter</i> | 22 |
| Gambar 2.13 | Proses pencuplikan (a) Sinyal Analog (b) Hasil Sinyal dicuplik..... | 22 |
| Gambar 2.14 | Proses kuantisasi | 23 |
| Gambar 2.15 | Proses pengkodean..... | 24 |
| Gambar 2.16 | <i>Shadowing</i> | 27 |
| Gambar 2.17 | <i>Additive White Gaussian Noise (AWGN)</i> | 29 |
| Gambar 2.18 | Model kanal <i>fading</i> | 30 |
| Gambar 2.19 | Interferensi Inter Simbol | 32 |
| Gambar 3.1 | Diagram Alir Perancangan Equalisasi Adaptif Menggunakan TMS320C6713 | 36 |
| Gambar 3.2 | Diagram Alir Pengambilan Sinyal Suara Asli | 38 |
| Gambar 3.3 | Diagram Alir Pengolahan Sinyal | 40 |
| Gambar 3.4 | Diagram Alir Proses Pemfilteran Sinyal Keluaran Kanal..... | 40 |
| Gambar 3.5 | Diagram Alir Proses Pengurangan Sinyal Asli dengan Sinyal Keluaran Kanal | 41 |
| Gambar 3.6 | Diagram Alir Proses Adaptasi Algoritma LMS | 41 |
| Gambar 3.7 | Blok Diagram Equalisasi Sinyal Secara Adaptif | 42 |
| Gambar 3.8 | Diagram Alir Pengujian Kanal <i>time varying</i> | 42 |
| Gambar 3.9 | Diagram Alir Pengujian AWGN..... | 43 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 3.10 | Blok Diagram Pengujian 2 Kanal Masukan (a) Mono R (b) Mono L... | 43 |
| Gambar 3.11 | Blok Diagram Pengujian Filter FIR | 44 |
| Gambar 3.12 | Blok Diagram Pengujian Sinyal $e(n)$ | 44 |
| Gambar 3.13 | Blok Diagram Pengujian Tombol Pilihan Output..... | 45 |
| Gambar 3.14 | Blok Diagram Pengujian Sistem Secara Keseluruhan | 45 |
| Gambar 3.15 | Blok Diagram Perhitungan SNR Keluaran Kanal..... | 46 |
| Gambar 3.16 | Blok Diagram Perhitungan SNR Keluaran Filter Equalisasi Adaptif...47 | |
| Gambar 3.17 | Diagram Alir Perhitungan BER Sistem Tanpa Equalisasi..... | 47 |
| Gambar 3.18 | Diagram Alir Perhitungan Nilai BER Sistem dengan Equalisasi Sinyal Adaptif | 48 |
| Gambar 4.1 | Blok Diagram Equalisasi Adaptif Menggunakan TMS320C6713..... | 49 |
| Gambar 4.2 | Blok Diagram Perangkat Keras Equalisasi Adaptif | 51 |
| Gambar 4.3 | <i>Sound Card</i> | 54 |
| Gambar 4.4 | <i>Microphone BOER</i> | 55 |
| Gambar 4.5 | <i>Speaker Logitech s191</i> | 56 |
| Gambar 4.6 | Kabel USB | 56 |
| Gambar 4.7 | <i>Schematic Konektor Mono L/R to Stereo</i> | 57 |
| Gambar 4.8 | Diagram Alir Proses Penentuan Nilai Maksimum <i>Step Size</i> (μ)..... | 59 |
| Gambar 4.9 | Diagram Alir Proses Perancangan Kanal <i>Time Varying</i> | 60 |
| Gambar 4.10 | Diagram Alir Proses Perancangan Kanal AWGN..... | 61 |
| Gambar 4.11 | Diagram Alir Proses Perancangan Dua Kanal <i>Input</i> pada TMS320C6713 | 62 |
| Gambar 4.12 | Hasil Keluaran Perancangan Dua Kanal Input pada TMS320C6713 (a) mono R (b) mono L | 63 |
| Gambar 4.13 | Blok Diagram Filter dengan Struktur FIR | 64 |
| Gambar 4.14 | Diagram Alir Proses Perancangan Filter dengan Struktur FIR..... | 65 |
| Gambar 4.15 | Sinyal Suara “telekomunikasi” Keluaran Filter FIR..... | 66 |
| Gambar 4.16 | Blok Diagram Penentuan Sinyal $e(n)$ | 66 |
| Gambar 4.17 | Diagram Alir Proses Penentuan Nilai Sinyal $e(n)$ | 67 |
| Gambar 4.18 | Diagram Alir Proses <i>Update</i> Koefisien Filter $w[i]$ | 68 |
| Gambar 4.19 | Diagram Alir Proses Pilih <i>Output</i> Filter..... | 70 |
| Gambar 4.20 | Tampilan Tombol Pilihan <i>Output</i> pada CCS 3.1 | 71 |
| Gambar 4.21 | Diagram Alir Pengambilan Sinyal Suara Asli | 71 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 4.22 | Sinyal Suara Manusia dengan Ucapan Kata "telekomunikasi" | 72 |
| Gambar 4.23 | Diagram Alir Pengujian Kanal <i>time varying</i> | 74 |
| Gambar 4.24 | Diagram Alir Pengujian Kanal AWGN | 74 |
| Gambar 4.25 | Hasil Pengujain (a) Kanal <i>time varying</i> (b) AWGN | 75 |
| Gambar 4.26 | Pengujian Kanal Masukan Mono R TMS320C6713 (a) Diagram Alir , (b) Konfigurasi Pengujian | 77 |
| Gambar 4.27 | Hasil Pengujian 2 Kanal Masukan (a) sinyal suara asli (b) sinyal suara terdistorsi..... | 78 |
| Gambar 4.28 | Pengujian Filter FIR (a) Diagram Alir (b) Konfigurasi Pengujian | 80 |
| Gambar 4.29 | Sinyal Suara Hasil Filter FIR | 81 |
| Gambar 4.30 | Pengujian Sinyal $e(n)$ (a) Blok Diagram (b) Konfigurasi Pengujian | 83 |
| Gambar 4.31 | Hasil Pengujian Sinyal $e(n)$ | 84 |
| Gambar 4.32 | Pengujian Tombol Pilihan Output (a) Blok Diagram (b) Konfigurasi Pengujian..... | 86 |
| Gambar 4.33 | Hasil Pengujian Tombol Pilihan Output (a) Sinyal suara asli (b) Sinyal terdistorsi kanal (c) Sinyal <i>error</i> (d) Sinyal hasil equalisasi..... | 88 |
| Gambar 4.34 | Pengujian Sistem Secara Keseluruhan (a) Blok Diagram, (b) Konfigurasi Pengujian..... | 90 |
| Gambar 4.35 | Hasil Pengujian Sistem untuk <i>Stepsize</i> 0.053 | 91 |
| Gambar 4.36 | Hasil Pengujian Sistem untuk <i>Step size</i> 0.0002 | 92 |
| Gambar 4.37 | Hasil Pengujian Sistem untuk <i>Step size</i> 0.00000009 | 92 |
| Gambar 4.38 | Diagram Alir Perhitungan SNR Sinyal Asli..... | 93 |
| Gambar 4.39 | Diagram Alir Perhitungan SNR Sinyal Asli..... | 94 |
| Gambar 4.40 | Blok Diagram Perhitungan SNR Keluaran Filter Equalisasi Adaptif... | 95 |
| Gambar 4.41 | Grafik SNR Output Sistem Fungsi Faktor <i>Stepsize</i> | 96 |
| Gambar 4.42 | Blok Diagram Perhitungan BER Sinyal terdistorsi Kanal..... | 97 |
| Gambar 4.43 | Blok Diagram Perhitungan BER Sinyal Output Sistem | 98 |
| Gambar 4.44 | Grafik BER Output Sistem Fungsi Faktor <i>Stepsize</i> | 99 |

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perangkat Keras Sistem Equalisasi Adaptif105

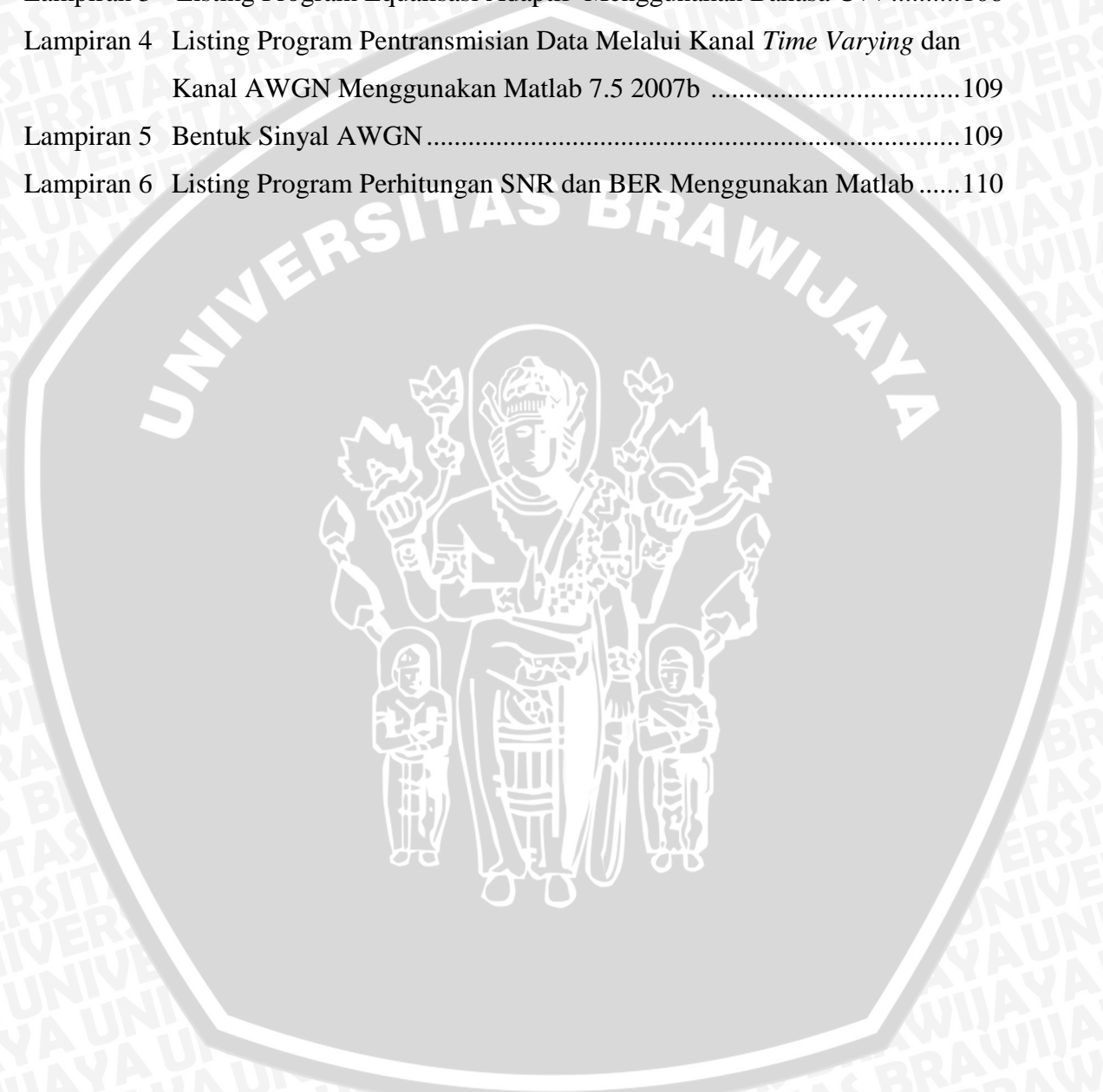
Lampiran 2 Tampilan *Code Compose Studio* (CCS) 3.1 dengan Program Equalisasi Adaptif 105

Lampiran 3 Listing Program Equalisasi Adaptif Menggunakan Bahasa C++106

Lampiran 4 Listing Program Pentransmisian Data Melalui Kanal *Time Varying* dan Kanal AWGN Menggunakan Matlab 7.5 2007b109

Lampiran 5 Bentuk Sinyal AWGN109

Lampiran 6 Listing Program Perhitungan SNR dan BER Menggunakan Matlab110



ABSTRAK

Riza Ghozlina Indanartha, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2010, *Aplikasi Algoritma LMS (Least Mean Square) sebagai Equalisasi Sinyal secara Adaptif dengan Menggunakan TMS320C6713*, Dosen Pembimbing : Ir. Wahyu Adi P., MSc, Ali Mustofa, ST., MT.

Perkembangan teknologi telekomunikasi yang cepat dan bersifat tanpa kabel ternyata memiliki beberapa permasalahan. Suatu permasalahan seperti kanal transmisi yang bersifat *time varying* dapat menyebabkan interferensi antar simbol yang berdekatan (ISI). Equalisasi adaptif menggunakan algoritma LMS memanfaatkan TMS320C6713 merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Dalam sistem equalisasi adaptif menggunakan algoritma LMS ini masukan berupa sinyal suara asli dan sinyal suara terdistorsi kanal. Sinyal suara terdistorsi kanal akan diolah dengan menggunakan filter adaptif FIR dan kemudian keluarannya diselisihkan dengan sinyal suara asli untuk mendapatkan sinyal $e(n)$. Sinyal $e(n)$ berguna untuk proses adaptasi sehingga menghasilkan koefisien filter adaptif. Hasil dari koefisien filter adaptif ini akan dimasukkan kembali untuk menghitung sinyal keluaran filter FIR berikutnya. Dalam equalisasi adaptif ini terdapat beberapa parameter yang harus ditentukan yaitu orde filter dan *step size*. Batasan nilai *step size* ini dihitung berdasarkan daya sinyal masukan. Parameter yang akan dicari adalah SNR dan BER sinyal.

Untuk dapat menerapkan metode equalisasi adaptif menggunakan algoritma LMS dengan memanfaatkan TMS320C6713, maka diperlukan perancangan blok diagram penerapan equalisasi adaptif, kemudian dirancang perangkat kerasnya dan selanjutnya diperlukan perancangan perangkat lunak dari algoritma LMS. TMS320C6713 merupakan mikroprosesor yang dirancang untuk pengolahan sinyal digital. Dalam pengoperasiannya, pada perancangan perangkat lunak membutuhkan program Code Composer Studio 3.1 dan PC sebagai transfer algoritma.

Performansi dari penerapan algoritma LMS (*Least Mean Square*) sebagai equalisasi sinyal secara adaptif dengan menggunakan TMS320C6713 berdasarkan pengujian sistem keseluruhan adalah SNR paling besar yaitu 15.4956 dB dan nilai BER terkecil yaitu 4.1346×10^{-5} didapatkan pada saat *step size* bernilai 0.00000009. Sedangkan SNR paling kecil yaitu 5.7671dB dan nilai BER terbesar yaitu 0.0082 didapatkan pada saat *step size* bernilai 0.053. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai *step size* sangat berpengaruh pada sistem equalisasi sinyal secara adaptif ini. Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa penghapusan ISI terbesar adalah pada saat nilai *step size* sama dengan 0.00000009, pada nilai *step size* ini nilai BER sinyal terdistorsi kanal yang bernilai 0.0060 dapat diminimalkan menjadi 4.1346×10^{-5} .

Kata Kunci: LMS, equalisasi adaptif, TMS320C6713

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi telekomunikasi yang semakin cepat, dan mengarah pada sistem komunikasi tanpa kabel atau *wireless*. Pada pentransmisi data komunikasi *wireless* ini akan melewati kanal yang berubah terhadap waktu (*time varying*). Hal memungkinkan terjadinya interferensi antar simbol yang berdekatan atau yang biasa disebut dengan *Inter Symbol Interference* (ISI). Untuk mengurangi ISI dapat diupayakan dengan menggunakan filter pada pengirim dan pada penerima. Namun kondisi kanal transmisi yang berubah-ubah terhadap waktu (*time varying*) menyebabkan sinyal terima bersifat non-stasioner. Sehingga penggunaan filter pada pengirim dan penerima tidak cukup handal untuk mengurangi ISI. Maka dibutuhkan sebuah filter adaptif yang mampu menyesuaikan dengan kondisi kanal yang berubah-ubah tersebut.

Untuk menyesuaikan dengan kondisi kanal pengiriman data digital diperlukan adanya equalisasi sinyal. Equalisasi sinyal adaptif merupakan sebuah filter adaptif yang diharapkan dapat mengatasi keadaan kanal yang *time varying*, sehingga kesalahan pada pengiriman data digital dapat diminimalisir. Equalisasi sinyal adaptif ini bekerja dengan menggunakan *invers* dari respon sistem kanal yang digunakan untuk mengirimkan data digital, dalam hal ini menggunakan kanal AWGN dan kanal yang bersifat *time varying*. Filter adaptif ini nantinya akan diletakkan pada penerima sehingga masukan filter akan berupa sinyal terdistorsi akibat kanal komunikasi tersebut.

Filter adaptif secara umum terdiri atas 2 buah unit utama yaitu filter digital dengan koefisien yang berubah terhadap waktu dan sebuah algoritma adaptif. Filter digital digunakan untuk meningkatkan performansi sinyal hasil penyaringan. Algoritma adaptif digunakan untuk mengatur koefisien filter secara berkelanjutan. Filter digital yang digunakan pada skripsi ini adalah FIR (*Finite Impuls Response*). Pada model filter ini memiliki kemudahan dalam mengontrol koefisien filter sampai stabil. Model ini juga memiliki algoritma yang mudah dan efisien dalam menentukan koefisien filter.

Algoritma yang digunakan adalah LMS (*Least Mean Square*). Kelebihan dari algoritma LMS ini dapat dengan mudah ditentukan dalam hal konvergensi dan

stabilitasnya. Hal ini dikarenakan algoritma LMS tidak memerlukan orde filter yang panjang untuk mendapatkan nilai koefisiennya. Sehingga jenis filter adaptif FIR dengan algoritma LMS ini memenuhi kriteria yang pas dalam perancangan sebuah filter. Pada algoritma ini nilai *error* ditentukan dari selisih suara masukan dan suara keluaran filter. Koefisien filter ini akan menentukan proses pemfilteran suara asli. Proses minimalisasi nilai *error* ini akan menentukan proses adaptasi koefisien filter selanjutnya. Proses ini terus berlanjut sesuai panjang filter yang digunakan. Tujuan dari proses algoritma filter menggunakan struktur LMS ini agar pencapaian nilai koefisien filter stabil dan *error* bernilai nol.

Realisasi dari perancangan sebuah filter adaptif dapat memanfaatkan perangkat input/output TMS320C6713. TMS320C6713 merupakan mikroprosesor untuk pengolahan sinyal digital secara *real time*. Dengan memanfaatkan DSP jenis TMS320C6713 dengan metode transmisi tertentu dimana pengolahan sinyal digital secara *real time* dan terdapat rangkaian ADC (*Analog Digital Converter*), DSP (*Digital Signal Processor*) dan DAC (*Digital Analog Converter*) yang terintegrasi menjadi satu sistem *embedded* sehingga data masukan dapat langsung diproses dan dikeluarkan melalui *line out*. Proses equalisasi sinyal secara adaptif ini dapat dilakukan dengan cara memberikan algoritma pada DSP tanpa mengubah dan menambah rangkaian yang telah ada.

Beberapa alasan inilah yang mendasari pembuatan skripsi yaitu mengenai perancangan filter adaptif sebagai equalisasi sinyal secara adaptif menggunakan algoritma LMS (*Least Mean Square*) dengan memanfaatkan TMS320C6713. Sehingga pengiriman data digital melalui kanal komunikasi baik yang bersifat *additive noise* maupun *time varying* dapat diminimalisir kesalahannya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan dari latar belakang di atas maka skripsi ini dititik-beratkan pada masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang blok diagram equalisasi sinyal secara adaptif ini dengan menggunakan kanal AWGN dan kanal *time varying*.
2. Bagaimana merancang perangkat keras terkait dengan blok diagram perancangan equalisasi sinyal secara adaptif.

3. Bagaimana merancang perangkat lunak pada perancangan equalisasi sinyal secara adaptif terkait dengan blok diagram perancangan.
4. Bagaimana performansi equalisasi sinyal secara adaptif ini dengan menggunakan algoritma LMS dan memanfaatkan TMS320C6713 pada perancangan.
5. Bagaimana besar penghapusan ISI (*Inter Symbol Interference*) yang terjadi akibat adanya equalisasi sinyal secara adaptif pada sistem penerima.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah di atas, agar pembahasan terfokus pada pokok pembahasan maka batasan masalah pada penelitian antara lain :

1. Struktur dan algoritma adaptif yang dikembangkan adalah struktur FIR dengan algoritma LMS.
2. Filter adaptif digunakan untuk mengurangi ISI akibat kanal AWGN dan kanal *time varying* yang dirancang melalui MATLAB 7.5 pada saat pentransmisian data digital.
3. Data input merupakan suara manusia yang dikirimkan melalui kanal AWGN dan kanal *time varying*.
4. Proses perekaman suara ucapan manusia digunakan *software* cooledit pro 2.
5. *Microphone* yang digunakan untuk merekam suara manusia adalah tipe LODA M-A6.
6. Filter yang dirancang dengan memanfaatkan perangkat TMS320C6713.
7. Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah SNR (*Signal To Noise Ratio*) input dan output dan BER (*Bit Error Rate*).

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari skripsi ini adalah merancang filter equalisasi sinyal secara adaptif menggunakan algoritma LMS (*Least Mean Square*) dengan memanfaatkan perangkat TMS320C6713.

1.5 Kontribusi

Mengatasi ISI (*Intersymbol Interference*) akibat kanal *time varying* pada transmisi digital kecepatan tinggi yang dapat mengganggu sistem komunikasi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang teori dasar tentang, filter adaptif, filter equalisasi sinyal secara adaptif, algoritma LMS (*Least Mean Square*), *Interference Inter Symbol* (ISI), kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*), kanal *time varying* dan TMS320C6713.

BAB III METODE PENELITIAN

Membahas tentang studi literatur, skema filter, pengambilan data, perancangan sistem, pengujian, dan analisis serta pengambilan kesimpulan. Studi literatur ini meliputi filter adaptif, filter equalisasi sinyal secara adaptif dan TMS320C6713. Skema filter ini meliputi struktur filter FIR, penentuan orde filter, algoritma LMS, dan penentuan *step size*. Pengambilan data adalah pengambilan *sample* suara manusia. Pengujian sistem meliputi pengujian masing-masing blok dan pengujian secara keseluruhan. Analisis meliputi analisis SNR, BER dan besar penghapusan ISI. Kesimpulan diambil berdasarkan hasil pengujian dan analisis.

BAB IV PEMBAHASAN DAN HASIL PENELITIAN

Membahas tentang spesifikasi perangkat keras yang digunakan dalam merancang filter equalisasi sinyal secara adaptif menggunakan algoritma LMS dengan memanfaatkan

perangkat TMS320C6713 dan perancangan perangkat lunak dalam merancang filter adaptif FIR LMS. Selain itu juga membahas tentang hasil pengujian terhadap hasil rancangan yang telah dibuat, baik setiap blok rangkaian maupun secara keseluruhan dan analisa performansi sistem berdasarkan hasil pengujian dan kemudian membandingkan performansi equalisasi sinyal secara adaptif pada kanal AWGN dan kanal *time varying*.

BAB V PENUTUP

Membahas tentang kesimpulan dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut atas filter adaptif yang telah dibuat.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

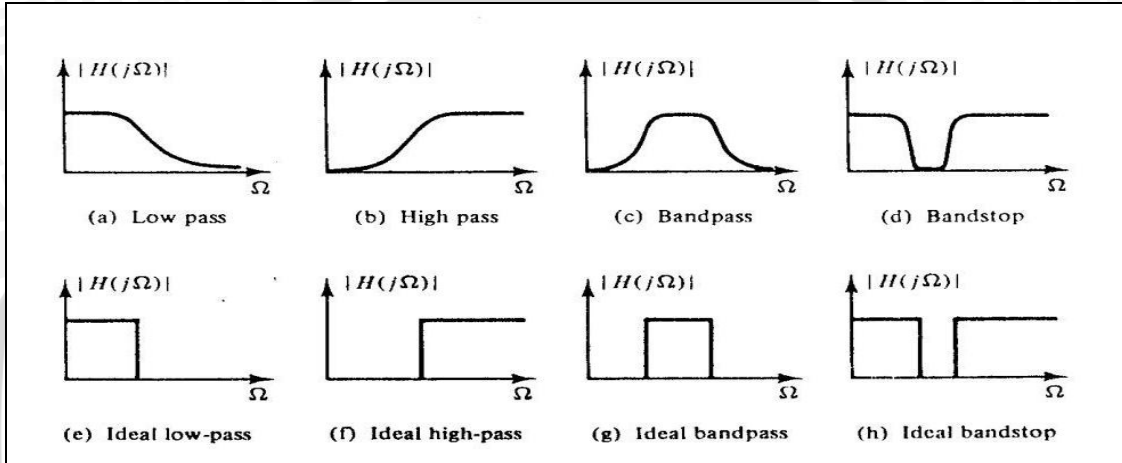
Equalisasi sinyal secara adaptif merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi efek ISI (*Inter Symbol Interference*) akibat pengiriman data melalui kanal *time varying* pada sistem komunikasi *wireless*. Kanal yang akan dipakai untuk pengiriman data menggunakan kanal *time varying* dan kanal AWGN. Metode equalisasi adaptif ini prinsipnya adalah menggunakan invers dari kanal *time varying* itu sendiri. Dalam kondisi yang sederhana dapat digunakan sebuah filter tetap *lowpass*, *highpass* atau *bandpass* untuk memperbaiki sinyal asli. Tetapi penggunaan filter tersebut tidak optimum. Untuk mengatasi hal tersebut maka digunakan filter adaptif. Filter adaptif yang digunakan khususnya dalam hal equalisasi sinyal secara adaptif ini menggunakan FIR adaptif dengan menggunakan algoritma LMS (*Least Mean Square*). Penerapan metode equalisasi sinyal secara adaptif pada sistem digital dapat dilakukan salah satunya dengan menggunakan TMS320C6713 yang merupakan salah satu jenis *Digital Signal Processor* (DSP) untuk pengolahan sinyal digital secara *real time*. Sinyal masukan yang akan di equalisasi merupakan sinyal suara sehingga dibutuhkan peralatan seperti *microphone*, *sound card* dan *speaker*. Dalam bab ini akan dibahas teori-teori dasar yang menunjang dalam menerapkan metode equalisasi sinyal secara adaptif pada TMS320C6713 menggunakan algoritma LMS. Teori-teori dasar tersebut adalah filter, filter digital, filter adaptif, equalisasi adaptif, dan teori-teori pendukung lainnya.

2.2 Filter Digital

Pada dasarnya sebuah filter berfungsi untuk mengolah frekuensi dari suatu sinyal, apakah frekuensi sinyal tersebut diteruskan atau diredam, dalam hal ini disesuaikan dengan kebutuhan. Tujuan dari pemfilteran antara lain adalah untuk meningkatkan kualitas sinyal dengan cara menghilangkan *noise*, mendapatkan sinyal informasi yang dibawa oleh sinyal dengan cara memisahkan dua atau lebih sinyal yang dimodulasi.

Berdasarkan pengaturan-pengaturan frekuensi yang diredam maka filter dapat dibedakan menjadi:

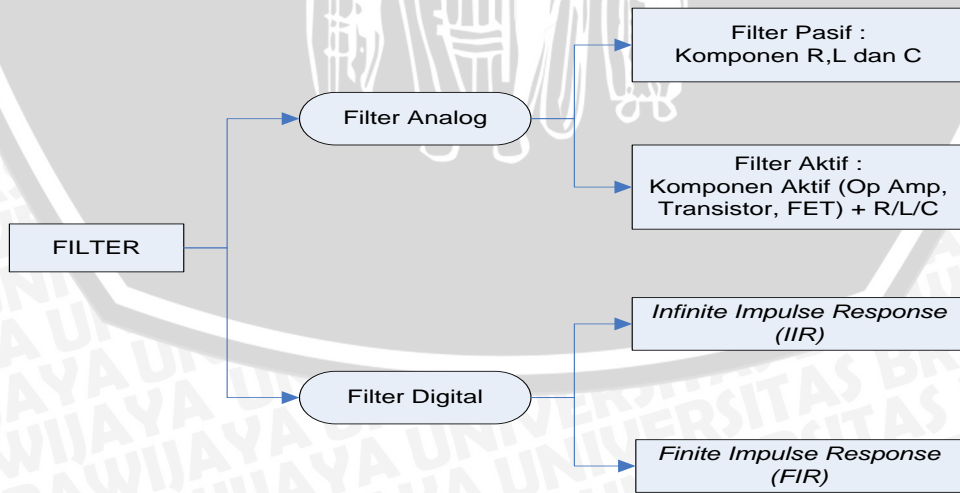
1. *Low Pass Filter* (LPF)
2. *High Pass Filter* (HPF)
3. *Band Pass Filter* (BPF)
4. *Band Stop Filter* (BSF)



Gambar 2.1. Jenis-jenis Filter

Sumber : Lonnie C. Ludeman, 2006:120

Jika dibagi berdasarkan sinyal yang diproses, filter dibedakan menjadi 2, yaitu filter analog dan filter digital. Pada dasar teori dalam skripsi ini hanya akan dibahas mengenai filter digital saja. Detail pembagian jenis filter dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Pembagian filter berdasarkan pemrosesan sinyalnya

Sumber : Harlianto Tanudjaja, 2008:71

Filter digital adalah filter yang dibuat dengan cara mengimplementasikan algoritma matematis dari filter analog untuk kemudian dioperasikan pada sebuah sistem digital. Sebuah sinyal analog dapat difilter secara digital dengan cara mengubah sinyal analog tersebut menjadi sinyal digital terlebih dahulu dengan menggunakan *Analog to Digital Converter (ADC)* sehingga menjadi deretan angka-angka tertentu untuk kemudian proses filterisasi secara digital dapat dilakukan. Setelah proses filterisasi dilakukan, sinyal tersebut direkonstruksi kembali menjadi sebuah sinyal analog dengan menggunakan *Digital to Analog Converter (DAC)*.



Gambar 2.3 Proses Pemfilteran secara Digital

Sumber : Ludeman, Lonnie C. 1987:168

Berdasarkan panjang deret $h(n)$, filter digital terbagi menjadi 2 jenis, yaitu :

- *Infinite Impulse Response*, apabila panjang deret k tak terbatas

$$y(n) = -\sum_{k=1}^N a(k)y(n-k) + \sum_{k=0}^M h(k)x(n-k) \quad (2.1)$$

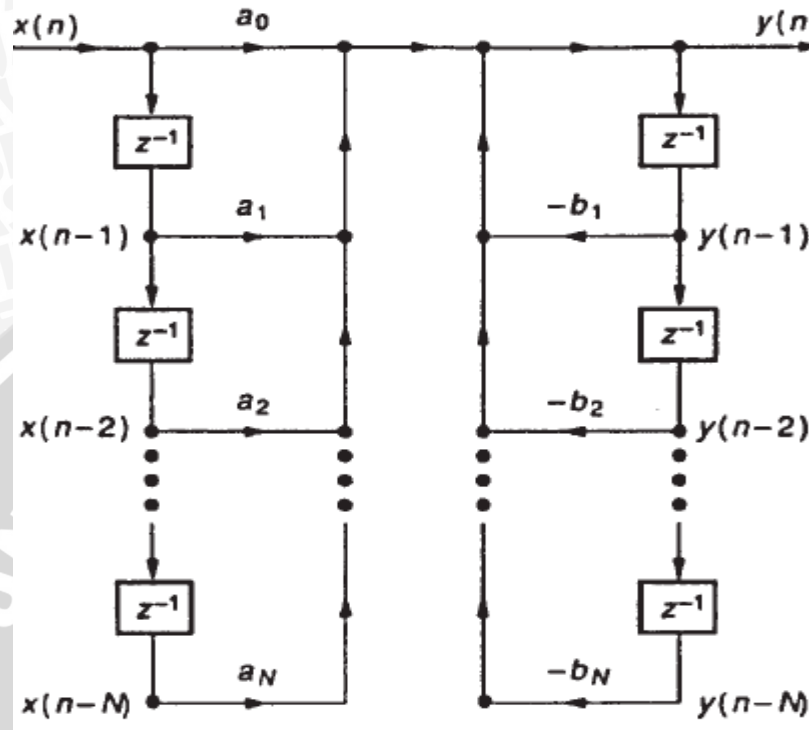
- *Finite Impulse Response*, apabila panjang deret k terbatas

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k) \quad (2.2)$$

2.2.1 Filter Digital IIR (*Infinite Impulse Response*)

Ciri-ciri persamaan differensial yang menyatakan filter *Infinite Impulse Response* (IIR) adalah tidak hanya menggunakan masukan sekarang (*present state*) sebagai sinyal masukan tetapi juga menggunakan keluaran sebelumnya yaitu $y(n-1)$, $y(n-2)$, dst) untuk menentukan keluaran saat ini. Oleh karena itu biasanya dipakai proses rekursif atau umpan balik. Dengan demikian filter IIR harus memiliki *pole* atau koefisien penyebut dari fungsi transfer. Koefisien pada IIR menentukan jenis/tipe filter yang

dipakai. Untuk memperoleh fasa linear dari filter IIR lebih sulit dibandingkan dengan filter FIR.



Gambar 2.4 Struktur Filter IIR

Sumber : Rulph Chassaing, 2006:240

Persamaan 2.3 berikut ini merupakan struktur filter digital IIR.

$$y(n) = -\sum_{k=1}^N a(k)y(n-k) + \sum_{k=0}^M h(k)x(n-k) \tag{2.3}$$

Keterangan :

- $y(n)$ = deretan output filter IIR
- N = orde filter
- M = panjang elemen filter
- $h(k)$ = koefisien filter
- $a(k)$ = koefisien filter
- $x(n-k)$ = sinyal input sebelumnya
- $y(n-k)$ = sinyal output sebelumnya
- k = 0,1,2,.....,(N-1)

2.2.2 Filter Digital FIR (*Finite Impulse Response*)

Filter jenis ini merupakan filter dengan deretan waktu terbatas yang kausal dan stabil serta memiliki respon fasa yang linier. Persamaan 2.4 merupakan struktur filter digital FIR.

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k) \quad (2.4)$$

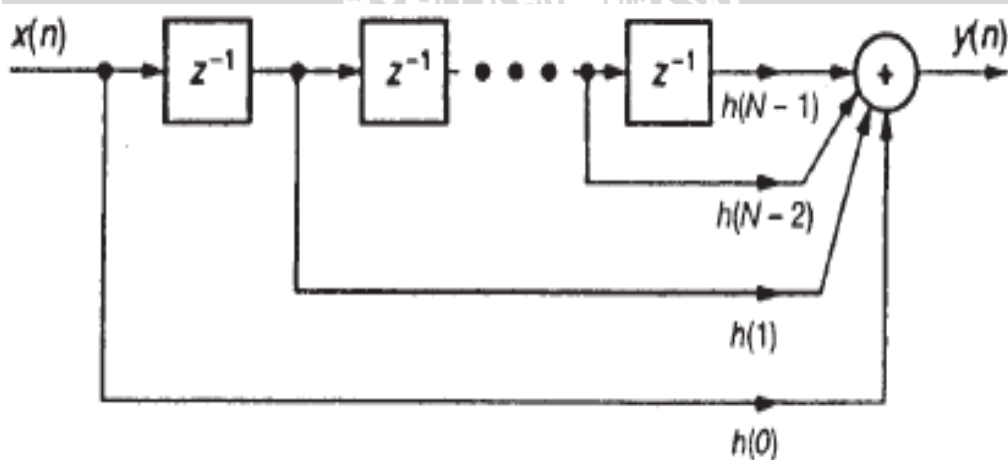
$$y(n) = h(k)x(n) + h(k)x(n-1) + \dots + h(k)x(n-N-1) \quad (2.5)$$

Fungsi alihnya dalam transformasi Z adalah

$$H(z) = \sum_{k=0}^{N-1} h(n)z^{-k} \quad (2.6)$$

Keterangan :

- $y(n)$ = deretan output filter FIR
- N = orde filter
- $h(k)$ = koefisien filter
- $x(n-k)$ = sinyal untuk panjang ke-n sampai ke-N
- k = 0,1,2,.....,(N)



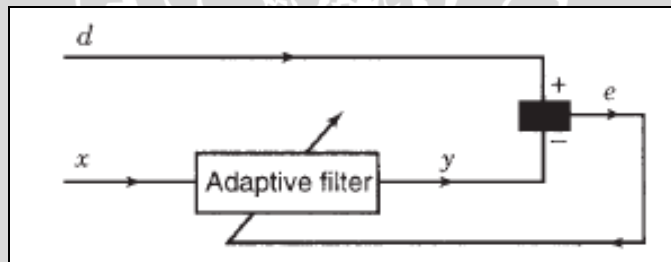
Gambar 2.5 Struktur Filter FIR

Sumber : Rulph Chassaing, 2006:203

2.3 Filter Adaptif

Filter adaptif tersusun atas 2 buah unit yaitu filter digital dengan koefisien yang berubah terhadap waktu dan algoritma adaptif. Filter digital digunakan untuk meningkatkan performansi sinyal. Algoritma adaptif digunakan untuk mengatur koefisien filter secara berkelanjutan. Filter Adaptif digunakan untuk berbagai macam aplikasi, yaitu sebagai *noise cancelling*, *predictor system*, *invers modelling*, *identification structure*, *adaptive equalization*. Masing-masing aplikasi memiliki fungsi yang berbeda-beda. Pada aplikasi *noise cancelling* digunakan untuk menghapus *noise* yang tercampur pada sumber suara asli, *predictor system* digunakan sebagai pemrediksi suatu sistem yang belum diketahui, *invers modelling* digunakan sebagai pembalik dari sebuah model dari sistem, identifikasi sistem untuk mengidentifikasi struktur suatu algoritma dan *adaptive equalization* digunakan untuk mengurangi kesalahan transmisi akibat kanal *time varying*.

Gambar 2.6 merupakan Blok diagram Filter Adaptif. Sinyal input x dilakukan proses penyaringan untuk mendapatkan sinyal keluaran $x_1(n)$. Algoritma adaptif mengatur nilai koefisien filter digital secara berkelanjutan. Proses minimalisasi nilai *error*, dapat dilakukan dengan perhitungan pada persamaan 2.7.



Gambar 2.6 Blok Diagram Filter Adaptif
Sumber : Rulph Chassaing, 2002:217

$$e(n) = x(n) - \hat{x}(n) \tag{2.7}$$

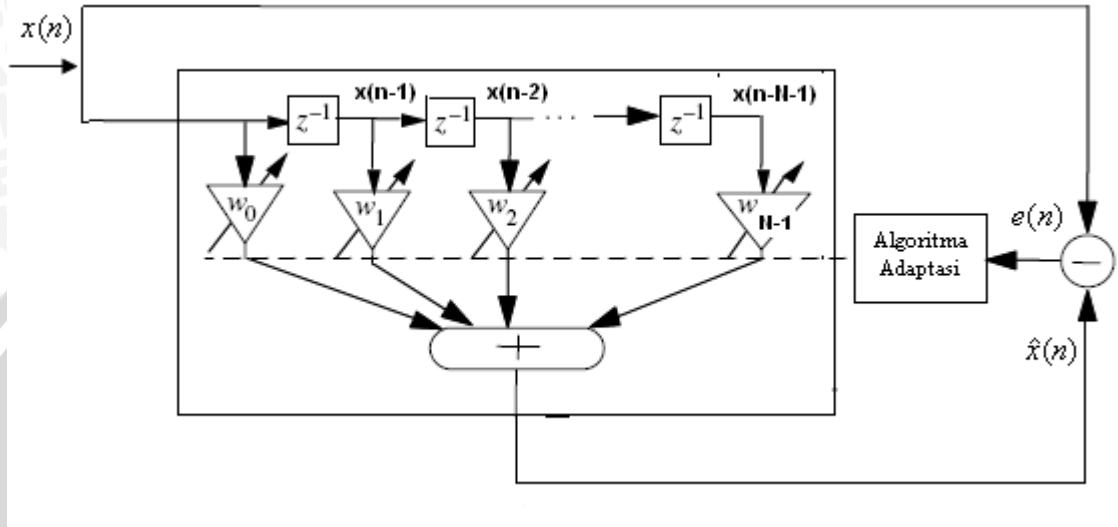
Keterangan:

$e(n)$ = sinyal *error* hasil pemfilteran

$x(n)$ = sinyal masukan sumber suara

$\hat{x}(n)$ = sinyal keluaran dari hasil pemfilteran

Gambar 2.6 menunjukkan blok diagram filter adaptif. Di dalam blok diagram tersebut terdapat beberapa blok penyusunnya. Blok penyusun tersebut berupa penyusun dari filter digital dan algoritma adaptif dari sebuah filter adaptif. Gambar 2.7 menunjukkan secara detail blok penyusun dari filter adaptif.



Gambar 2.7 Konfigurasi Filter Adaptif
Sumber : Saeed V. Vaseghi.2006:196

Gambar 2.7 menunjukkan masukan dari filter adaptif berupa sinyal masukan sumber suara $x(n)$. Kemudian sinyal tersebut dihubungkan dengan sebuah filter digital dan sebuah bagian yang berfungsi menselisihkan nilai keluaran filter digital dengan sinyal asli sumber suara. Sinyal sumber suara yang masuk pada bagian filter digital akan mengalami proses pemfilteran. Proses pemfilteran sesuai dengan koefisien filter digital. Sinyal keluaran filter ini berupa sinyal $\hat{x}(n)$. Sinyal output filter inilah yang kemudian di lakukan selisih dengan sinyal sumber suara asli $x(n)$ sehingga menghasilkan sinyal $e(n)$. Proses minimalisasi $e(n)$ ini yang menentukan nilai adaptasi koefisien filter. Proses ini terus berlanjut untuk nilai koefisien yang telah ditentukan.

Persamaan 2.8 merupakan struktur filter digital FIR.

$$\hat{x}(n) = w(i)x(n) + w(i)x(n-1) + \dots + w(i)x(n-N+1) \quad (2.8)$$

$$\hat{x}(n) = \sum_{i=0}^{N-1} w(i)x(n-i) \quad (2.9)$$

Keterangan:

$\hat{x}(n)$ = sinyal keluaran sumber suara yang telah difilter

- N = orde filter
- w(i) = koefisien filter
- x(n) = sinyal masukan awal
- x(n-i) = sinyal untuk panjang ke (n-i)
- i = 0,1,2,.....,(N-1)

Tujuan dari proses algoritma filter dengan struktur LMS merupakan pencapaian nilai minimum koefisien filter untuk mencapai stabil. Sehingga proses inisialisasi awal dari nilai w(i) adalah dengan menganggap harganya nol.

$$w(i) = 0 \tag{2.10}$$

Setelah mengetahui hasil dari keluaran filter FIR $\hat{x}(n)$, kemudian dapat dilakukan untuk menghitung nilai sinyal (e(n)) dengan cara mensubstitusi persamaan 2.9 ke dalam persamaan 2.7.

$$\hat{x}(n) = \sum_{i=0}^{N-1} w(i)x(n-i) \tag{2.11}$$

Keterangan:

- $\hat{x}_1(n)$ = sinyal keluaran hasil pemfilteran
- N = orde filter
- w(i) = koefisien filter
- x(n) = sinyal masukan suara asli
- x(n-i) = sinyal hasil keluaran kanal untuk panjang ke n-i
- i = 1,2,3,.....,N-1

Nilai dari e(n) kemudian akan diadaptasi dalam algoritma adaptasi untuk iterasi tertentu dalam menentukan nilai *update* dari koefisien filter yang baru. Proses adaptasi menggunakan struktur LMS dapat ditunjukkan pada persamaan 2.12.

$$w(i+1) = w(i) + \mu 2e(n)x(n-i) \tag{2.12}$$

Keterangan :

- w(i+1) = koefisien filter untuk iterasi ke-(i+1)
- w(i) = koefisien filter ke-i
- μ = *step size*

$e(n)$ = sinyal *error*

$x(n-i)$ = sinyal masukan untuk panjang ke-(n-i)

Proses dari pemfilteran akan terus berulang sampai dengan orde filter yang telah ditentukan sebelumnya. Panjang data yang akan dilakukan pemfilteran juga akan berpengaruh terhadap lama dari proses adaptasi tersebut. Untuk mencapai nilai yang konvergen, maka pendekatan yang dilakukan adalah dalam menentukan nilai dari *step size* (μ). Pendekatan nilai ini berdasarkan persamaan 2.13.

$$0 < \mu < \frac{2}{\lambda_{\max}} \quad (2.13)$$

Keterangan:

μ = *step size*

λ_{\max} = nilai maksimum dari autokorelasi matrix $x(n)$

Nilai dari $\frac{2}{\lambda_{\max}}$ pada persamaan 2.13 tidak lebih dari 1. Sehingga dapat

disimpulkan bahwa penentuan nilai dari *step size* minimal adalah 0 dan maksimal bernilai 1 untuk mencapai hasil yang optimal dalam proses adaptasi filter. Persamaan penentuan λ_{\max} ditunjukkan pada persamaan 2.14.

$$\lambda_{\max} = 10NP_x \quad (2.14)$$

Keterangan:

λ_{\max} = nilai maksimum dari autokorelasi matrix $x(n)$

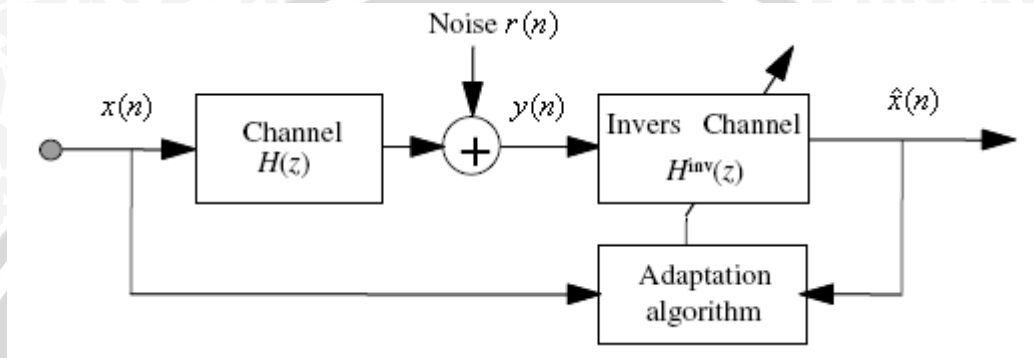
N = orde filter

P_x = daya dari sinyal $x(n)$

2.4 Equalisasi Adaptif

Pada proses pengiriman sinyal sering terjadi distorsi yang mengakibatkan terjadinya kesalahan deteksi pada penerima. Distorsi tersebut bisa disebabkan karena adanya interferensi intersymbol (ISI) dan *noise*. ISI terjadi karena pengaruh kanal *time varying*. Untuk mengurangi ISI bisa dilakukan dengan memasang filter tertentu pada pengirim dan penerima. Dalam kenyataannya kanal transmisi kondisinya berubah sehingga penggunaan sepasang filter pada pengirim dan penerima yang didesain

berdasarkan rata-rata kondisi kanal, tidak cukup handal untuk mengurangi ISI. Oleh karena itu diperlukan sebuah filter adaptif yang mampu menyesuaikan dengan kondisi kanal yang berubah-ubah tersebut. Filter adaptif ini biasa disebut dengan equalizer. Gambar 2.8 di bawah ini menunjukkan aplikasi filter adaptif sebagai equalisasi adaptif dengan hubungan input, output dan algoritma adaptasi dimana pada skripsi ini menggunakan algoritma LMS.



Gambar 2.8. Aplikasi filter adaptif untuk equalisasi adaptif.

Sumber : Saeed V. Vaseghi,2006.

Pada gambar 2.8 jika $x(n)$ merupakan sinyal masukan kanal *time varying*, $r(n)$ merupakan *noise* dari kanal AWGN, maka nilai dari $y(n)$ dapat dilihat pada persamaan (2.15) berikut ini

$$y(n) = h[x(n)] + r(n) \tag{2.15}$$

Keterangan:

$y(n)$ = sinyal keluaran dari kanal *time varying* dan AWGN

$x(n)$ = sinyal masukan kanal *time varying*

$h[x(n)]$ = respon distorsi kanal

$r(n)$ = *noise* dari kanal AWGN

Efek dari kanal *time varying* ini kemudian akan diolah dengan menggunakan filter FIR transversal. Jika menggunakan filter FIR transversal maka persamaan (2.15) akan menjadi persamaan (2.16) berikut ini

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} h_i(n)x(n-i) + r(n) \tag{2.16}$$

Keterangan:

$y(n)$ = sinyal keluaran dari kanal *time varying* dan AWGN

$x(n)$ = sinyal masukan kanal *time varying*

$h_i(n)$ = respon distorsi kanal ke- i

$x(n-i)$ = sinyal masukan untuk panjang ke- $(n-i)$

N = orde filter

$r(n)$ = *noise* dari kanal AWGN

Pada kawasan frekuensi maka persamaan (2.16) akan menjadi persamaan (2.17) dan akan ditunjukkan pada gambar 2.9 berikut ini.

$$Y(f) = X(f)H(f) + R(f) \tag{2.17}$$

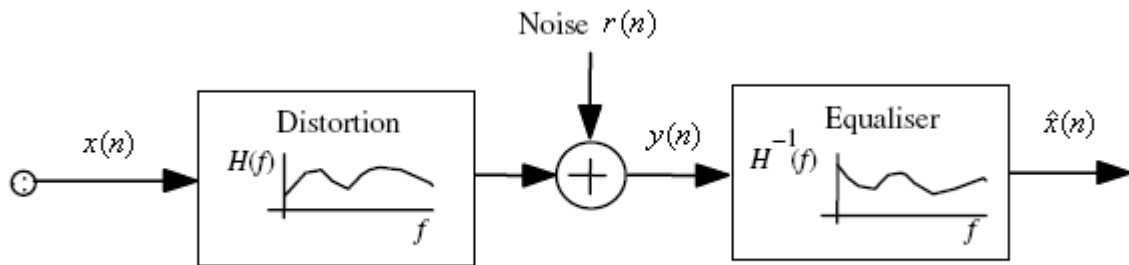
Keterangan:

$Y(f)$ = sinyal keluaran kanal dalam kawasan frekuensi

$X(f)$ = sinyal masukan kanal dalam kawasan frekuensi

$H(f)$ = respon distorsi kanal dalam kawasan frekuensi

$R(f)$ = *noise* kanal AWGN dalam kawasan frekuensi



Gambar 2.9 Ilustrasi distorsi kanal yang diikuti dengan equalizer.

Sumber: Saeed V. Vaseghi, 2006

Dari persamaan (2.15) dan Gambar 2.8 dapat ditentukan keluaran dari *invers channel* adalah sebagai berikut

$$\hat{x}(n) = \sum_{i=0}^{N-1} w(i)y(n-i) \tag{2.18}$$

Dari persamaan 2.18 ini dapat ditentukan nilai *error* yang terjadi $e(n)$ dengan persamaan sebagai berikut

$$e(n) = x(n) - \hat{x}(n) \tag{2.19}$$

$$e(n) = x(n) - \sum_{i=0}^{N-1} w(i)y(n-i) \quad (2.20)$$

Keterangan:

$e(n)$ = sinyal *error*

$x(n)$ = sinyal masukan kanal *time varying*

$\hat{x}(n)$ = sinyal keluaran hasil equalisasi

$w(i)$ = koefisien filter ke- i

$y(n-i)$ = sinyal keluaran dari kanal *time varying* dan AWGN ke- i

N = orde filter

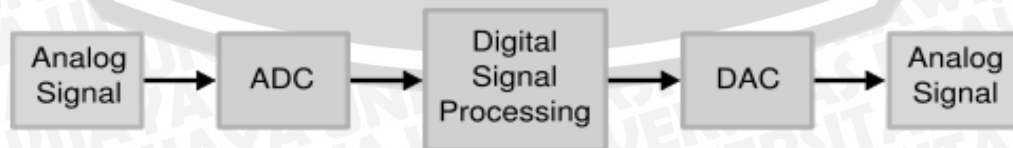
i = 1,2,3,.....,N-1

2.5 TMS320C6713

TMS320C6713 merupakan salah satu DSP (*digital signal processor*) keluaran dari Texas Instrument. TMS320C6713 sejenis mikroprosesor yang dirancang untuk melakukan pemrosesan isyarat digital (*digital signal processing*). DSP jenis ini merupakan suatu rangkaian terintegrasi yang menyerupai mikroprosesor, tetapi arsitekturnya memiliki spesialisasi untuk melakukan pemrosesan data diskrit dengan kecepatan tinggi seperti proses filtering dan *fast fourier transform*. Dalam pemrosesan data oleh DSP mula – mula data yang berupa sinyal analog diubah menjadi sinyal elektronik oleh transduser (*microphone*), kemudian agar sinyal tersebut dapat diproses oleh DSP maka harus diubah / dikonversikan menjadi sinyal digital dengan rangkaian ADC.

Selanjutnya DSP memroses sinyal tersebut dan sinyal keluaran DSP yang merupakan sinyal digital dikonversikan lagi ke sinyal analog dengan rangkaian DAC.

Gambar 2.10 merupakan gambar pemrosesan suatu sinyal oleh DSP.



Gambar 2.10. Pemrosesan Sinyal Digital

Sumber : John G. Proakis.1997.

Spesifikasi TMS320C6713

- a. Tegangan 5 V
- b. 24-bit stereo *codec*
- c. Terdapat 4 jack untuk *microphone*, *line in*, *speaker* and *line out*
- d. *Expansion port connector for plug in module*
- e. *Onboard standard IEEE JTAG Interface*
- f. *Embedded JTAG support via USB*

Karakteristik TMS320C6713 :

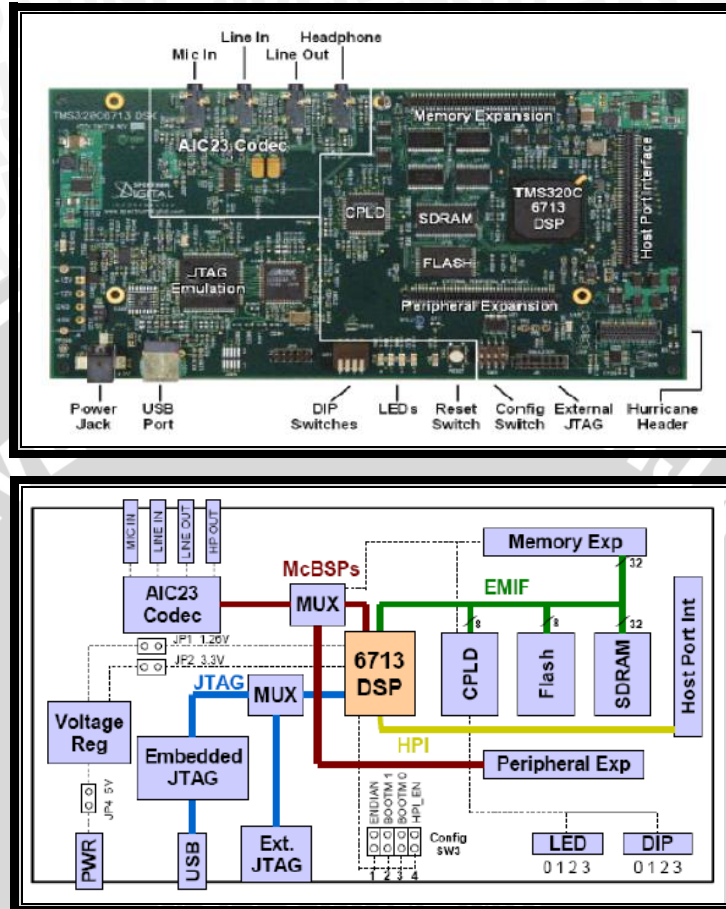
- a. Pemrosesan bersifat *real-time*.
- b. Mempunyai ADC (*Analog to Digital Converter*) pada bagian input dan DAC pada bagian output (Biasanya pada card DSP telah terdapat unit ADC dan DAC, sehingga dapat dilakukan proses pencuplikan sinyal sesungguhnya).
- c. Mempunyai kinerja yang optimal untuk *streaming-data*.
- d. Menggunakan arsitektur Harvard (memori program dan data terpisah).
- e. Memiliki instruksi khusus untuk pemrosesan SIMD (*Single Instruction, Multiple Data*).
- f. Tidak memerlukan *hardware* khusus untuk operasi *multitasking*.
- g. Mempunyai kemampuan DMA (*Direct Memory Access*) jika dipakai sebagai *host system*.

TMS320C6713 dilengkapi dengan *software* CCS (*Code Composer Studio*) yang berguna untuk mendownload program yang telah dibuat ke DSK TMS320C6713. CCS V 3.1 yang merupakan *software* bawaan dari jenis TMS320C6713 ini dapat menggunakan bahasa C dan *assembly* dalam bahasa pemrogramannya.

2.5.1 Board TMS320C6713

Board TMS320C6713 terdiri atas *digital signal processor C6713* dan 32 bit stereo *codec* TLV320AIC23. untuk input dan output. Pada *onboard* AIC23 terdapat ADC dan DAC dengan *sampling rate* antara 8 sampai 96 kHz. Pada DSK board ini terdiri 16 M *synchronous dynamic random access memory* (SDRAM) dan 246 kB *flash memory*.

Empat buah konektor sebagai input dan output yaitu *headphones*, *Line IN* dan *Line OUT*, *Mic IN* dan *Mic OUT*.



Gambar 2.11 Board TMS320C6713 (a) Board (b) Diagram
 Sumber : [texas instrument](http://www.ti.com)

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa *interface* audio pada jenis DSK ini menggunakan AIC23 *codec*. Pada keadaan *default* untuk konfigurasi DSK ini, *codec* berhubungan dengan 2 buah serial *ports* McBSP0 dan McBSP1. McBSP0 digunakan dalam kanal unidireksional untuk mengontrol register konfigurasi internal. Hal tersebut digunakan dengan program untuk mengirimkan 16 bit kontrol *word* ke AIC23 dalam format SPI. 7 bit paling atas pada *control word* di register untuk memodifikasi dan 9 bit bawah berisi nilai register. Saat terjadi sekali konfigurasi, kanal kontrol dalam keadaan normal berupa *idle* pada saat data audio dikirim atau dilewatkan.

McBSP1 digunakan dalam kanal data bi-directional untuk input ADC dan output DAC. Pendukung *codec* bervariasi pada masing-masing jenis format. Pada beberapa contoh *codec* direncanakan dengan membuat 16 bit *sample* di 2 *complement format*.

Codec tersebut diatur untuk mengoperasikan *master mode*. Sehingga hal itu akan memberikan suplai dalam sinkronisasi *frame* dan bit *clocks* pada *sample rate* ke McBSP1.

Codec ini memiliki sistem *clock* 12 MHz dimana pada frekuensi yang sama digunakan sistem USB. AIC23 terbagi dari frekuensi 12 MHz menjadi *sampling rate* 8000, 16000, 24000, 32000, 44100, 48000, dan 96000 Hz.

Komponen-komponen utama dan pendukung dari DSK C6713 yaitu:

1. Prosesor TMS320C6713

Merupakan prosesor dengan kecepatan *clock* 225 MHz yang mendukung operasi *fixed-point* dan *floating-point*. Kecepatan operasinya dapat mencapai 1350 juta operasi *floating-point* per detik (MFLOPS) dan 1800 juta instruksi per detik (MIPS). Selain itu, prosesor ini dapat melakukan 450 juta operasi *multiply-accumulate* per detik.

2. CPLD (*Complex Programmable Logic Device*)

CPLD berisi register-register yang berfungsi untuk mengatur fitur-fitur yang ada pada board. Pada DSK C6713, terdapat 4 jenis register CPLD, yaitu:

a. USER_REG Register

Mengatur *switch* dan LED sesuai yang diinginkan *user*.

b. DC_REG Register

Memonitor dan mengontrol *daughter card*.

c. VERSION Register

Indikasi yang berhubungan dengan versi *board* dan CPLD.

d. MISC Register

Untuk mengatur fungsi lainnya pada *board*.

3. *Flash memory*

DSK menggunakan memori *flash* yang berfungsi untuk *booting*. Dalam *flash* ini berisi sebuah program kecil yang disebut POST (*PowerOn Self Test*). Program ini berjalan saat DSK pertama kali dinyalakan. Program POST akan memeriksa fungsi-fungsi dasar *board* seperti koneksi USB, *audio codec*, LED, *switches*, dan sebagainya.

4. SDRAM

Memori utama yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan instruksi maupun data.

5. AIC23 *Codec*

Berfungsi sebagai ADC maupun DAC bagi sinyal yang masuk ke *board*.

6. Daughter card interface

Konektor-konektor tambahan yang berguna untuk mengembangkan aplikasi-aplikasi pada *board*. Terdapat 3 konektor, yaitu *memory expansion*, *peripheral expansion*, dan *Host Port Interface*.

7. LED dan Switches

LED dan *switches* ini merupakan fitur yang dapat membantu dalam membangun aplikasi karena dapat deprogram sesuai keinginan *user*.

8. JTAG (*Joint Test Action Group*)

Merupakan konektor yang dapat melakukan transfer data dengan kecepatan yang sangat tinggi. Hal ini akan berguna dalam aplikasi *realtime*.

2.5.2 Analog to Digital Converter

Sebuah sinyal mengandung informasi tentang amplitudo, frekuensi dan sudut fasa. Pengolahan sinyal biasanya digunakan untuk mendapatkan informasi dari sebuah sinyal. Mendapatkan informasi dari sebuah sinyal menggunakan perangkat analog adalah rumit dan kurang akurat. Karena itu kita gunakan metode pengolahan yang lebih sederhana, fleksibel dan akurat, yaitu pengolahan sinyal digital (DSP). Untuk pengolah sinyal analog dengan perangkat digital, yang pertama dilakukan adalah mengubah sinyal analog menjadi sederetan angka yang mempunyai keakuratan tertentu. Langkah ini disebut konversi analog ke digital, menggunakan alat yang disebut ADC (*Analog to Digital Converter*). Supaya sinyal digital ini cukup akurat untuk dikembalikan lagi menjadi sinyal analog maka perlu diperhatikan masalah jumlah *sampling* yang dipilih oleh ADC dan besarnya angka yang dipakai untuk mewakili tiap *sampling*. Teori *sampling* membantu kita untuk menentukan jumlah *sampling* yang diperlukan untuk menghasilkan kembali sinyal analog berdasarkan frekuensi maksimum pada sinyal analog yang diolah.



Gambar 2.12 Proses Analog To Digital Converter

Sumber : John G. Proakis, Dimitris G. Manolakis. *Pemrosesan sinyal digital: Prinsip, Algoritma dan Aplikasi*.

2.5.2.1 Sampling

Sampling merupakan proses pencuplikan suatu sinyal dengan tingkat *sampling* yang lebih besar dari sama dengan dua kali nilai frekuensi maksimumnya. Teori *sampling* ini berasal dari teorema *Nyquist* yang ditunjukkan pada persamaan berikut.

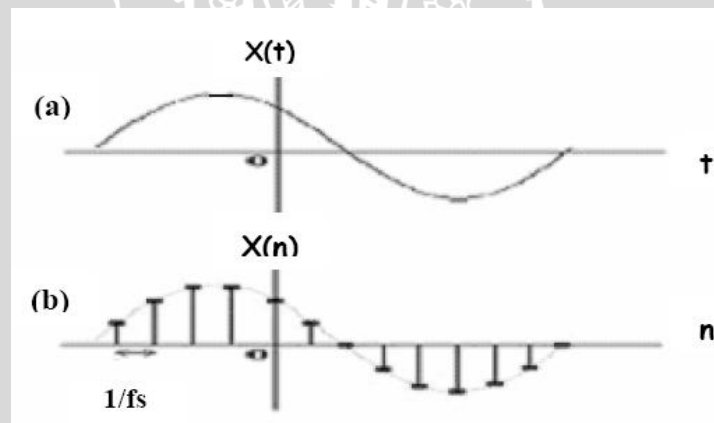
$$f_s \geq 2f_m \quad (2.21)$$

Keterangan :

f_s : Frekuensi *sampling* (Hz)

f_m : Frekuensi maksimum dari sinyal yang akan disampling (Hz)

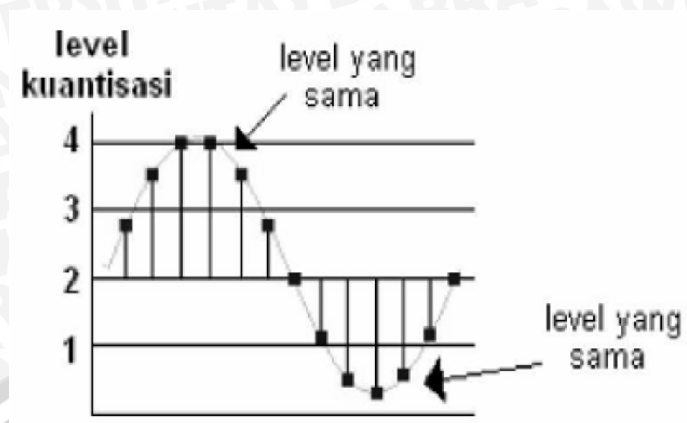
Proses *sampling* suatu sinyal ditunjukkan pada Gambar 2.13 berikut. Gambar tersebut dilakukan proses pencuplikan sehingga dihasilkan *sampling rate* $1/f_s$.



Gambar 2.13 Proses pencuplikan (a) Sinyal Analog (b) Hasil Sinyal dicuplik
Sumber : John G. Proakis, Dimitris G. Manolakis. *Pemrosesan sinyal digital: Prinsip, Algoritma dan Aplikasi.*

2.5.2.2 Kuantisasi

Sinyal digital merupakan sebuah deretan angka (*sampling*) yang diwakili oleh beberapa digit dengan jumlah tertentu (menentukan keakuratan). Proses melakukan konversi sinyal yang telah dicuplik menjadi sinyal digital yang diwakili oleh sebuah nilai dengan jumlah digit tertentu disebut kuantisasi.



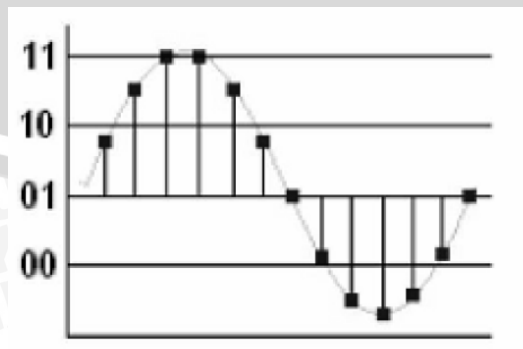
Gambar 2.14 Proses kuantisasi

Sumber : John G. Proakis, Dimitris G. Manolakis. *Pemrosesan sinyal digital: Prinsip, Algoritma dan Aplikasi.*

Gambar diatas adalah contoh proses kuantisasi yang menggunakan empat level. Pada level 4 terdapat empat buah sinyal yang menempati level yang sama, artinya keempat sinyal tersebut dikelompokkan menjadi level yang sama walaupun tingginya berbeda. Demikian pula pada level 1.

2.5.2.3 Pengkodean

Proses pengkodean dalam ADC menetapkan bilangan biner tertentu pada tiap level kuantisasi. Bila kita mempunyai level kuantisasi sejumlah L, maka dibutuhkan bilangan biner paling tidak sejumlah L. Digit yang diperlukan sebanyak b-bit sehingga $2^b \geq L$. Untuk Gambar 2.14, terdapat empat level kuantisasi sehingga dibutuhkan 2-bit. Jadi kode biner adalah 00, 01, 10, 11. Pada Gambar 2.15 menunjukkan bahwa hasil keluaran ADC adalah mempunyai kode biner 10,11,11,11,11,10,01,01,00,00,00,01,01.



Gambar 2.15 Proses Pengkodean

Sumber : John G. Proakis, Dimitris G. Manolakis. *Pemrosesan sinyal digital: Prinsip, Algoritma dan Aplikasi.*

2.5.3 *Software Pendukung Board TMS320C6713*

Proses dalam pengolahan sebuah aplikasi menggunakan perangkat TMS320C6713 membutuhkan sebuah perangkat lunak pendukung. Perangkat pendukung tersebut terdiri atas beberapa yaitu BSL (*Board Support Library*), CSL (*Chip Support Library*). Dimana *software* pendukung tersebut sebagai pustaka untuk melakukan pembuatan sebuah aplikasi.

2.5.3.1 BSL (*Board Support Library*)

BSL (*Board Support Library*) adalah file library untuk mendukung kinerja dari board TMS320C6713. BSL terdapat pada jenis DSK TMS320C6713. BSL terdiri atas fungsi bahasa C untuk konfigurasi dan mengontrol semua peralatan *board*. *Library* ini berisi modul untuk inisialisasi umum, akses AIC23 *codec*, membaca DIP *switch*, *control* LED, pemrogram, dan menghapus *flash memory*. *Source code* dari *library* ini juga sudah menjadi satu dengan *library* ini. Versi dari *Code Composer* didukung dengan DSK untuk pengaturan secara otomatis menggunakan BSL. Kita dapat mendapatkan dokumentasi secara lengkap untuk BSL dengan cara menghubungkan DSK dengan PC, jalankan *Code Composer*, kemudian ke bagian *help*, *contents*, TMS320C6713, *software*, *Board support Library*.

Fungsi untuk mengkonfigurasi *codec* di BSL McBSP1 untuk mengirim dan menerima 16 bit *words*. *Codec* akan mengirim 16 bit kiri dan kanan saluran input *sample* ke McBSP1 dan program membaca *sample* tersebut dari McBSP1's *Data Receive Register* (DRR1) untuk kemudian bagaimana mengeluarkan apakah kanan dan apakah bagian kiri dari *sample* yang ada. Dalam modifikasi sederhana dari code DSK6713_AIC23 untuk mengirim dan menerima *sample* data dari *codec* di format DSP 32 bit. Hal pertama adalah kata pertama ditransmisikan menggunakan AIC23 *codec* dengan bagian kiri kanal sebesar 16 bit dan bagian kanan saluran sebesar 16 bit juga akan ditransmisikan. Hal ini berkembang samapi dengan digantinya BSL dengan dsk6713bsl32.lib. Header ini telah terinstal secara otomatis saat melakukan penginstalan pada PC.

Batasan dari file *library* BSL ini adalah pada tipe TMS320C6713 memiliki *content library* keluarga dari TMS320C6x dimana didalamnya terdapat jenis tipe TMS320C6713. Untuk penggunaan jenis TMS320C6713 atau di atasnya membutuhkan BSL yang mendukung pada *board* jenis tersebut.

2.5.3.2 CSL (*Chip Support Library*)

CSL atau *Chip Support Library* adalah kumpulan *file library* berupa fungsi C dan macros untuk mengkonfigurasi dan tatap muka dengan semua C6713 chip peripherals dan CPU *interrupt controller*. CSL berfungsi untuk mengatur dan mensinkronkan antara penggunaan aplikasi pada *board* dan semua chip pada TMS320C6713. *library* ini terdapat di PC saat DSK *software* dilakukan penginstalan.

Masing-masing *peripheral* dilindungi dengan sebuah API modul. *File header* CSLb terdapat simbol lengkap untuk semua jenis register. Pada CSL terdapat 2 buah cara untuk menginisialisasi register dari perangkat. Sebagai contoh dengan nama PER. Cara yang pertama adalah menggunakan fungsi `PER_configArgs(reg0,reg1,...)`. CSL memiliki `PER_REG_RMK` macros untuk membantu meletakkan masing-masing register. Cara yang kedua adalah menggunakan fungsi `PER_config(&MyConfig)` dimana `MyConfig` adalah struktur yang terbangun dengan menggunakan struktur CSL tipe `PER_Config`.

2.5.4 *Code Composer Studio*

CCS merupakan *interface* dari kesatuan *board* DSK dengan komputer. Perangkat lunak CCS ini yang nantinya berfungsi sebagai *generate code* dengan menggunakan bahasa C maupun *assembly*. Sebuah compiler C dengan file ekstensi `.c` dan sebuah bahasa *assembly* dengan file ekstensi `.asm`. *File* dengan bahasa c akan memproduksi file dengan bahasa *assembly*. *File assembly* inilah yang akan menghasilkan bahasa mesin objek dengan file ekstensi `.obj`. Kesatuan dari bahasa program tersebut digabungkan dengan sebuah *library* yang tersimpan pada CCS ini dan akan dihasilkan file keluaran dengan ekstensi `.out`.

Dalam pemrograman proyek baru pada TMS320C6713 dengan menggunakan CCS dibutuhkan beberapa file dengan ekstensi yang berbeda-beda supaya didapatkan program yang dapat berfungsi dengan baik. File tersebut adalah

1. *file.pjt*, merupakan file untuk membuat proyek baru dengan nama file.
2. *file.c*, merupakan program utama dari rencana program yang dibuat.
3. *file.asm*, merupakan program program utama *assembly* yang dibuat oleh si pemrogram.
4. *file.sa*, merupakan program sumber *assembly* linear yang dioptimasi dari file dengan ekstensi *.asm*.
5. *file.h*, merupakan header pendukung file.
6. *file.lib*, merupakan file *library*.
7. *file.cmd*, merupakan command linker untuk menggabungkan beberapa file.
8. *file.obj*, merupakan file objek yang dibuat oleh *assembler*.
9. *file.out*, merupakan file eksekusi yang harus di load sebelum melakukan
10. *run* pada prosesor TMS320C6713.
11. *file.cdb*, merupakan konfigurasi file jika menggunakan DSP/BIOS.

2.6 Kanal Propagasi

Pada komunikasi *wireless* dikenal istilah kanal propagasi, yakni media perambatan antara *transmitter* dan *receiver* dalam melakukan komunikasi. Kanal propagasi pada komunikasi *wireless* sangatlah kompleks, dan bisa dikatakan paling kompleks bila dibandingkan dengan komunikasi dengan menggunakan media lainnya. Hal ini disebabkan karena banyaknya fenomena dan permasalahan yang timbul yang dapat mempengaruhi performansi system secara signifikan. Fenomena dan permasalahan tersebut antara lain adalah:

1. *Noise* atau derau

Noise merupakan gelombang elektromagnetik yang terdapat di alam, dapat bersumber dari matahari, bumi, atmosfer, galaksi, busi kendaraan bermotor, dan lain-lain. Dalam sistem *wireless*, sinyal asli dapat bercampur (ditambahkan)

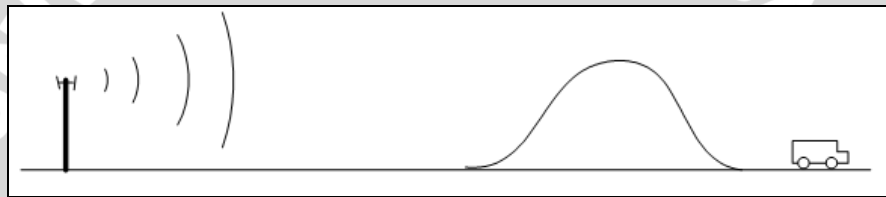
dengan sinyal *noise* ini sehingga *magnitude* sinyal total per satuan waktu merupakan penjumlahan kedua sinyal ini.

2. *Pathloss*

Pathloss merupakan daya rata-rata yang diterima oleh *receiver* yang disebabkan jarak antara *transmitter* dan *receiver*.

3. *Shadowing*

Shadowing merupakan fenomena yang terjadi pada sinyal yang diterima oleh *receiver* apabila daya yang diterima mengalami pelemahan atau attenuasi yang berubah-ubah dan acak. Hal ini disebabkan karena media komunikasi antara *transmitter* dan *receiver* terdapat halangan, seperti terlihat pada Gambar 2.17. Biasanya halangan tersebut berupa bukit, gedung tinggi.



Gambar 2.17 *Shadowing*

Sumber : www.ieee802.org

4. *Fading*

Fading secara definitif adalah penurunan dan fluktuasi daya di sisi *receiver*. *Fading* menyebabkan suatu kondisi dimana sinyal yang diterima terlalu jelek untuk dilakukan pemrosesan selanjutnya. Masalah akibat *fading* ada 2 macam, yaitu: pertama adalah penurunan sinyal, dan yang kedua fluktuasi sinyal itu sendiri. *Fading* dapat dikategorikan menjadi 2, yaitu *large scale fading* dan *small scale fading*. *Large scale fading*, erat kaitannya dengan prediksi *pathloss*. *Large scale fading* dapat menyebabkan penurunan daya sinyal untuk jarak yang semakin jauh dari antenna *base station*. Sinyal dikatakan mengalami *small scale fading* jika sinyal yang diterima mengalami distorsi akibat efek kanal. Pengaruh penting akibat adanya *small scale fading* adalah:

- Perubahan level daya terima yang cepat sepanjang interval waktu yang cukup singkat
- Terjadi pelebaran spektral akibat adanya *doppler shift* yang bervariasi pada tiap sinyal *multipath*.

- Terjadi dispersi waktu (echoes) akibat adanya *multipath propagation delays*.

Berikut ini adalah faktor-faktor yang mempengaruhi *small scale fading*.

1. *Multipath propagation*

Adanya objek-objek pemantul pada kanal mengakibatkan disipasi energi sinyal. Disipasi energi sinyal itu dapat berupa disipasi amplitudo, fasa, dan waktu. Hal ini mengakibatkan sinyal yang diterima di penerima menjadi dua jenis, yaitu langsung (*direct*) dan tunda (*delay*), dengan variasi amplitudo dan fasa yang acak pada tiap komponen *multipath*. Hal ini akan mengakibatkan *intersymbol interference* (ISI).

2. Kecepatan penerima (*mobile*)

Pergerakan relatif antara pemancar dan penerima menghasilkan efek *Doppler shift*, yaitu pergeseran frekuensi modulasi yang acak pada tiap komponen *multipath*. Hal ini mengakibatkan pelebaran spektral sinyal.

3. Kecepatan objek-objek lingkungan kanal

Jika objek-objek pada kanal dalam keadaan bergerak, maka akan mengakibatkan *time varying doppler shift*.

4. *Bandwidth* transmisi sinyal

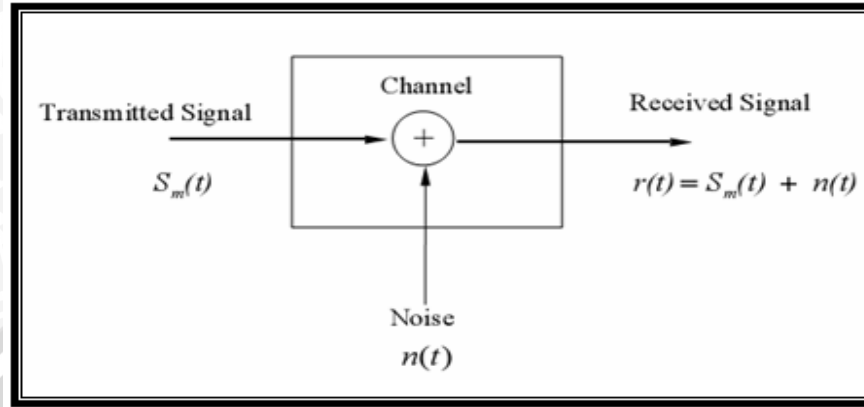
Jika *bandwidth* sinyal yang dikirimkan lebih besar dari *bandwidth* kanal, maka sinyal yang diterima akan mengalami *distorsi*. Hal ini berhubungan dengan *bandwidth* koheren dari kanal.

Pada sistem ini, karakteristik kanal diwakili oleh dua gejala yaitu *fading* yang berdistribusi *Rayleigh* dan adanya *noise* yang berdistribusi *Gaussian, Additive White Gaussian Noise* (AWGN).

2.6.1 Kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*)

Kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) adalah kanal ideal yang hanya memiliki noise AWGN (*additive white gaussian noise*) di dalamnya. Kanal ideal berarti kanal ini tidak menyebabkan distorsi (perubahan bentuk sinyal) pada sinyal yang

dikirim, artinya kanal ideal memiliki respon frekuensi yang tetap untuk segala frekuensi. Gambar 2.17 menunjukkan model kanal AWGN.



Gambar 2.17 Additive White Gaussian Noise (AWGN).
(Sumber : John G. Proakis, 2000)

Berdasarkan Gambar 2.17, sinyal yang dikirim $s(t)$, pada kanal akan terkena *noise* AWGN $n(t)$. Sehingga sinyal yang diterima menjadi $r(t) = s(t) + n(t)$. *Noise* AWGN adalah *noise* yang pasti terjadi dalam jaringan *wireless* manapun, memiliki sifat *additive*, *white* dan *gaussian*. Sifat *additive* artinya *noise* ini dijumlahkan dengan sinyal, sifat *white* artinya tergantung dari frekuensi operasi sistem dan memiliki rapat daya yang konstan, dan sifat *gaussian* artinya besarnya tegangan *noise* memiliki rapat peluang terdistribusi *gaussian*. Besarnya *noise* pada kanal AWGN ini dapat dituliskan dalam persamaan (2.22) sebagai berikut

$$N_0 = kTB \tag{2.22}$$

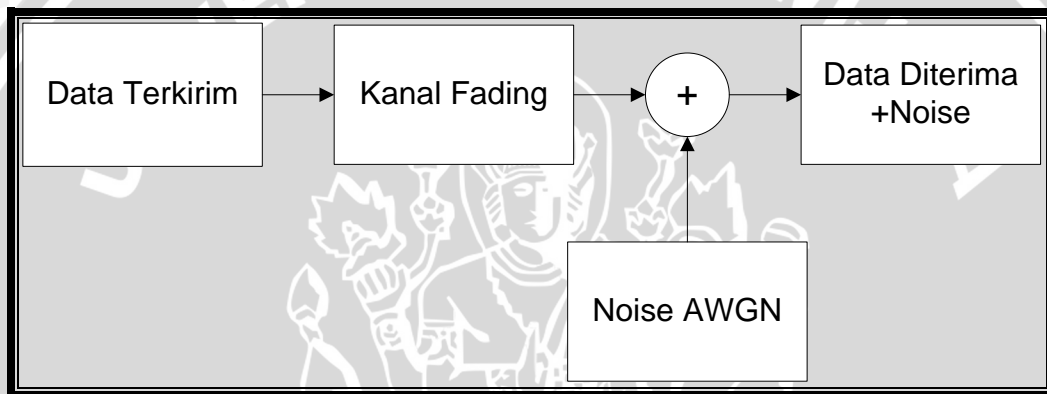
Keterangan:

- No = *noise* pada kanal AWGN (J Hz)
- k = konstanta boltzman (1.38×10^{-23} J/K)
- T = temperatur operasi sistem ($^{\circ}$ K)
- B = *bandwidth* (Hz)

Dari persamaan (2.22) dapat dipahami bahwa keberadaan *noise* AWGN dalam jaringan *wireless*, bahkan jaringan telekomunikasi manapun, akan selalu ada selama terdapat *bandwidth* dan temperature perangkat telekomunikasi bekerja pada suhu di atas -273° C.

2.6.2 Kanal *Multipath Rayleigh Fading*

Pada kenyatannya, tidak ada kanal yang benar-benar ideal. Kanal yang sebenarnya pasti memiliki respon frekuensi yang berubah pada setiap frekuensi tertentu sehingga menyebabkan *distorsi* pada sinyal yang dikirim. Kanal ini disebut kanal *fading* pada sistem komunikasi *wireless*. Kanal ini dibuat untuk memperkirakan akibat yang ditimbulkan oleh *multipath fading*. Distribusi yang sering digunakan untuk menjelaskan bentuk *fading* pendek pada kanal *multipath* yaitu distribusi *Rayleigh*. Kanal *fading* ditunjukkan dalam gambar 2.18.



Gambar 2.19 Model kanal *fading*
 Sumber: Savo Glisic, 2004:246

Distribusi *rayleigh* yang juga diturunkan dari distribusi *gaussian*, digunakan untuk mewakili komunikasi yang sifatnya *non-line of sight* (NLOS). Persamaan 2.23 di bawah ini digunakan untuk mencari probabilitas kesalahan atau distorsi yang diakibatkan oleh kanal *Multipath Rayleigh Fading* yang terdistribusi *Rayleigh* jika sinyal yang dikirimkan adalah sinyal R.

$$f_R(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right), & r \geq 0 \\ 0, & r \text{ lainnya} \end{cases} \quad (2.23)$$

Keterangan:

δ^2 = variansi dari sinyal R

r = magnitude dari sinyal R
 $f_R(r)$ = rapat probabilitas fungsi r

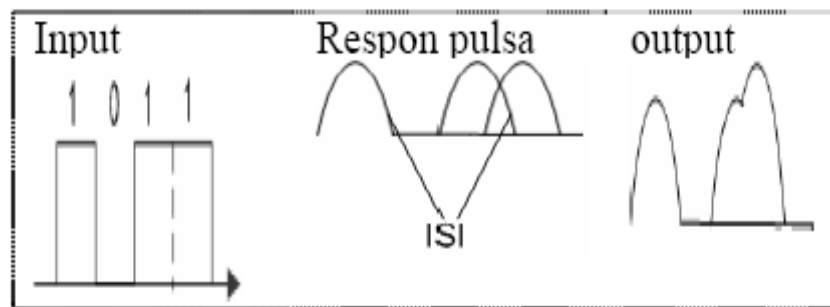
Pada skripsi ini kanal fading akan diwakili oleh kanal *time varying* yaitu kanal yang kondisinya berubah terhadap waktu. Respon kanal *time varying* yang digunakan adalah sebagai berikut

$$H(z) = \frac{0.986z^7 + (0.125 - 0.55i)z^5 + (0.31i)z^4 + 0.7654 + 0.321i}{0.845z^2 + 0.237z + 0.123} \quad (2.24)$$

Dari respon kanal pada persamaan 2.24 kemudian akan dicari koefisien filter yang kemudian akan digunakan pada proses perancangan dengan menggunakan Matlab 2007b.

2.7 Inter Symbol Interference (ISI)

Bandwidth pentransmisian data akan mendekati tak hingga sehingga perlu dibatasi oleh filter. Filter pembatas tersebut mengakibatkan pelebaran pulsa, sehingga memungkinkan terjadinya interferensi antar simbol yang berdekatan (ISI). ISI selain ditimbulkan oleh efek pemfilteran pada pengirim juga ditimbulkan akibat karakteristik-karakteristik element-element transmisi misalnya saja akibat kanal yang *multipath fading*. *Intersymbol interference* ini akan mengakibatkan perfformansi sistem menjadi lebih buruk yaitu dapat dilihat dari nilai BER (*Bit Error Rate*) yang cenderung lebih besar daripada sistem yang tidak terjadi ISI. Oleh karena itulah dibutuhkan sebuah equalizer yang bisa menyesuaikan dengan keadaan kanal yang *multipath* tersebut. Pada gambar 2.20 dapat dilihat efek interferensi intersimbol.



Gambar 2.20. Interferensi intersimbol.

Sumber: Umu Habibah.2006

2.8 Parameter Performansi Sistem

Beberapa parameter performansi sistem yang di bahas dalam skripsi ini antara lain sebagai berikut:

2.8.1 SNR (*Signal to Noise Ratio*)

Besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan dapat digambarkan dengan perbandingan antara sinyal dengan *noise* (SNR), yaitu :

$$SNR_{(dB)} = 10 \log \frac{P_{\text{sinyal}}}{P_{\text{noise}}} \quad (2.25)$$

Keterangan:

SNR = *Signal to Noise Ratio* (dB)

P_{sinyal} = Daya sinyal (Watt)

P_{noise} = Daya *noise* saluran transmisi (Watt)

2.8.2 BER (*Bit Error Rate*)

BER (*Bit Error Rate*) atau dengan sebutan lain probabilitas *error* bit merupakan nilai ukur kualitas sinyal yang diterima untuk sistem transmisi data digital. BER juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan jumlah bit *error* terhadap total bit yang diterima. Di bawah ini merupakan rumus umum perhitungan BER.

$$BER = \frac{\text{Jumlah bit yang salah}}{\text{Jumlah bit yang diterima}} \quad (2.26)$$

Nilai BER juga dipengaruhi oleh SNR sistem yaitu dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$BER = \frac{1}{2} \left[1 - \operatorname{erfc} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{SNR} \right) \right] \quad (2.27)$$

Keterangan :

BER = probabilitas *bit error* (tanpa satuan)

SNR = perbandingan antara sinyal dan noise (dB)

Sedangkan operator *error function* (erfc) dapat diketahui dengan persamaan:

$$\operatorname{erfc}(x) \approx 1 - \frac{e^{-x^2}}{\sqrt{\pi} \cdot x} \quad (2.28)$$

2.9 *Microphone*

Microphone merupakan sebuah *tranduser* suara menjadi sinyal listrik. Istilah *microphone* berasal dari bahasa Yunani *mikros* yang berarti kecil dan *phone* yang berarti suara atau bunyi. Istilah ini awalnya mengacu kepada alat bantu dengar untuk suara berintensitas rendah.

Respon Frekuensi memberikan informasi penting mengenai keseimbangan tone dari *mikropon* pada kondisi akustik yang berbeda. Untuk instrumen *microphone* kualitas tinggi, dibutuhkan rentang yang respon frekuensi yang lebar (20Hz sampai 20KHz). Namun untuk aplikasi yang berbeda, dibutuhkan jenis *microphone* yang berbeda pula. Misalnya untuk aplikasi telepon, hanya dibutuhkan *microphone* dengan rentang frekuensi 300-3400 Hz, karena frekuensi ini adalah rentang frekuensi suara manusia.

2.10 *Speaker*

Speaker merupakan suatu *electroacoustical transducer* yang mengkonversi suatu gelombang elektrik menjadi gelombang suara atau bunyi. Setiap getaran yang dihasilkan akan berubah menjadi sebuah bunyi yang harmoni dan dapat didengarkan dengan rentan frekuensi tertentu sesuai dengan masukannya. Frekuensi kerja dari *speaker* adalah 20 Hz-20000 Hz sesuai dengan *range* suara manusia dan memiliki penguatan hingga 10 dB.

2.11 *Sound Card*

Sound Card merupakan peralatan yang digunakan sebagai antarmuka antara komputer dengan perangkat lain yang berfungsi sebagai penerima atau pengirim sinyal audio ke/dari media yang diinginkan. *Sound card* memiliki jangkauan frekuensi hingga 20 KHz. Di dalam *sound card* terdapat sebuah komponen ADC (*Analog to Digital Converter*) untuk merubah sinyal analog menjadi digital dan juga komponen DAC (*Digital to Analog Converter*) untuk merubah sinyal digital menjadi sinyal analog. Frekuensi cuplik dalam *sound card* yang standard dapat diatur antara 8000 Hz hingga 44100 Hz .

BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam penyusunan skripsi ini, dirancang sebuah filter adaptif sebagai equalisasi sinyal secara adaptif menggunakan algoritma LMS (*Least mean Square*) dengan memanfaatkan TMS320C6713. Metode yang digunakan untuk menyusun skripsi ini adalah sebagai berikut:

3.1 Pengambilan Data

Data yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

3.1.1 Data Primer

Data primer diambil dari pengukuran secara langsung terhadap perancangan perangkat keras maupun perangkat lunak yang telah dibuat dan sesuai dengan teori yang berkaitan dengan equalisasi sinyal secara adaptif menggunakan algoritma LMS memanfaatkan TMS320C6713. Data primer ini meliputi penentuan penggunaan DSK TMS320C6713 dan penentuan berapa orde filter.

3.1.2 Data Sekunder

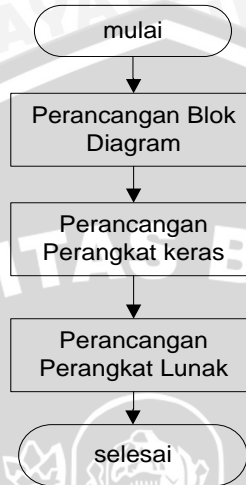
Data sekunder berupa studi literatur diambil dari buku teks, jurnal, internet, maupun data dari sumber lain yang berhubungan dengan equalisasi sinyal secara adaptif menggunakan algoritma LMS memanfaatkan TMS320C6713. Literatur yang diperlukan adalah hal – hal yang berhubungan dengan :

- Filter Adaptif
Meliputi pengertian, struktur filter adaptif,
- Equalisasi sinyal secara adaptif
Meliputi pengertian, fungsi, struktur dan prinsip kerja,
- Algoritma *Least Mean Square* (LMS)
Meliputi pengertian, *step size*, dan kelebihan algoritma LMS ini,
- TMS320C6713
Meliputi fungsi, spesifikasi, serta pengoperasian TMS320C6713.

Selain itu, data sekunder dapat berupa spesifikasi perangkat keras, spesifikasi perangkat lunak, maupun data-data pendukung lainnya.

3.2 Perancangan Equalisasi Adaptif Menggunakan TMS320C6713

Perancangan equalisasi sinyal secara adaptif menggunakan TMS320C6713 disesuaikan dengan teori-teori yang digunakan dan terdiri atas beberapa tahapan sesuai pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Equalisasi Adaptif Menggunakan TMS320C6713

Sumber : Perencanaan

3.2.1 Perancangan Blok Diagram

Perancangan ini merupakan dasar dalam menggunakan TMS320C6713 sebagai alat untuk mengequalisasi sinyal secara adaptif menggunakan algoritma LMS (*Least Mean Square*). Blok diagram yang disusun terdiri dari sinyal masukan, TMS320C6713, komputer, dan sinyal keluaran.

3.2.2 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras dirancang sebagai implementasi dari blok diagram yang telah direncanakan sebelumnya. Perangkat keras yang digunakan terdiri dari :

- Perangkat untuk memroses sinyal secara digital,
- Perangkat untuk melakukan perekaman sinyal suara,
- Perangkat untuk meng-*upload* program pada TMS320C6713,
- Perangkat untuk mengubah getaran suara manusia menjadi sinyal listrik ,
- Perangkat untuk mengubah sinyal listrik menjadi getaran suara,
- Perangkat keras lain yang diperlukan untuk mendukung pengimplementasian dari blok diagram yang direncanakan.

Pada perancangan perangkat keras ini, ditentukan pula spesifikasi dari perangkat keras yang digunakan. Hal ini bertujuan agar didapatkan perangkat keras dengan kemampuan baik sehingga equalisasi sinyal secara adaptif dapat diterapkan pada TMS320C6713 dengan hasil yang sesuai dengan tujuan yang diharapkan.

3.2.3 Perancangan Perangkat Lunak

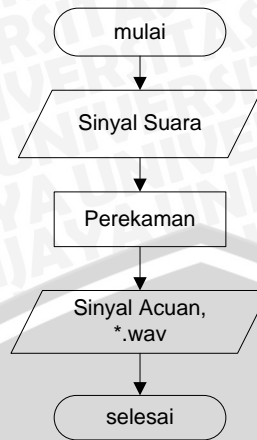
Perangkat lunak dirancang untuk menerapkan equalisasi adaptif dengan menggunakan algoritma LMS yang sesuai dengan teori yang digunakan. Perangkat lunak ini nantinya akan di *download* menggunakan komputer ke perangkat TMS320C6713.

Perancangan perangkat lunak yang diperlukan yaitu :

- Perancangan kanal transmisi data
Perancangan kanal transmisi data ini meliputi perancangan kanal *time varying* dan kanal AWGN.
- Perancangan filter *Finite Impulse Response* (FIR),
Perancangan filter FIR ini meliputi penentuan skema filter, penentuan panjang filter, penentuan adaptasi LMS dan penentuan *step size*.
- Perancangan equalisasi sinyal secara adaptif,
Perancangan equalisasi sinyal adaptif ini menggunakan bahasa C sesuai dengan teori yang digunakan.
- Perancangan tombol pilihan output.
Perancangan ini bertujuan untuk menentukan keluaran TMS320C6713 bekerja sesuai variasi yang diinginkan.

3.3 Pengambilan Sinyal Suara Asli Melalui Proses Perekaman

Perekaman suara manusia ini bertujuan untuk memperoleh sinyal audio dari suara manusia sebagai sinyal masukan yang akan dikirimkan melalui kanal AWGN dan *time varying*. Dilakukan proses perekaman agar dapat lebih mudah untuk melakukan proses analisis sinyal asli. Proses perekaman suara menggunakan *software* Cool Edit Pro 2.0 yang di-*install* pada komputer. Pada proses perekaman suara, frekuensi *sampling* diset sebesar 16000 kHz. Hasil perekaman tersebut disimpan dalam bentuk .wav.



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengambilan Sinyal Suara Asli
Sumber : Perencanaan

3.4 Pengolahan Sinyal

Pada proses pengolahan sinyal ini, data sampel (sumber suara manusia) dalam bentuk .wav akan diolah dengan menggunakan filter equalisasi sinyal adaptif sehingga didapatkan keluaran filter adaptif tanpa *noise* dan mendekati sinyal aslinya dengan menghapus distorsi kanal. Sinyal suara tersebut diolah pada TMS320C6713 setelah melewati kanal AWGN dan *time varying*. Proses pengolahan sinyal tersebut adalah sebagai berikut:

3.3.1 Sampling

Pada proses *sampling*, sinyal suara yang berupa sinyal analog diubah menjadi sinyal diskrit. Proses *sampling* ini menggunakan *software* Cool Edit Pro 2.0 dengan frekuensi *sampling* yang digunakan adalah sebesar 16000 Hz, hal ini berarti dalam 1 detik terdapat 16000 sampel.

3.3.2 Pentransmisian Sinyal

Sinyal yang telah disampling akan ditransmisikan pada kanal telekomunikasi yaitu kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) dan *time varying*. Saat dilewatkan pada kanal AWGN hanya akan terjadi penambahan *noise* saja, akan tetapi jika sinyal dilewatkan pada kanal *time varying* maka akan terjadi perubahan sinyal yang signifikan terhadap waktu baik frekuensi, amplitudo dan fasa nya. Kemudian keluaran dari kanal ini akan menjadi masukan dari filter equalisasi adaptif.

3.3.3 Filtering Sinyal Hasil Pentransmisian

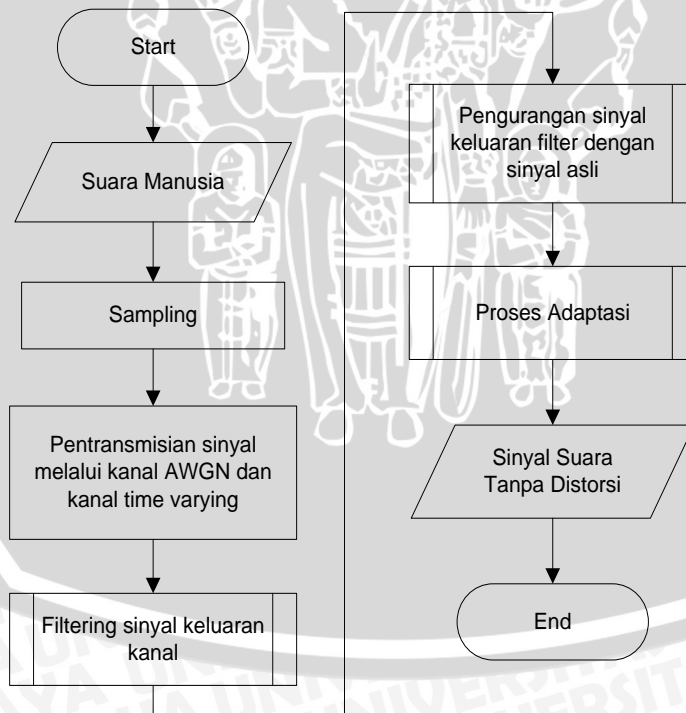
Filtering sinyal hasil pentransmisian adalah proses pemfilteran sinyal dengan menggunakan invers dari respons kanal sehingga didapatkan sinyal yang bebas dari efek distorsi kanal. Pada skripsi ini digunakan filter dengan struktur FIR Transversal sesuai dengan dasar teori sebelumnya.

3.3.4 Pengurangan Sinyal Keluaran Filter dengan Sinyal Asli

Proses selisih dari sinyal keluaran filter dengan sinyal asli bertujuan untuk mendapatkan sinyal error yang mendekati nol (0), hal ini dikarenakan keluaran dari proses filtering diharapkan nilainya mendekati sinyal aslinya.

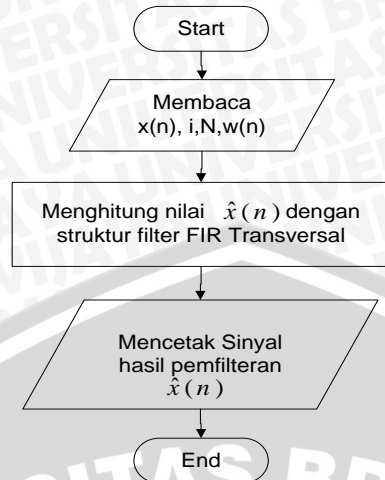
3.3.5 Proses Adaptasi

Proses adaptasi dilakukan untuk mendapatkan nilai koefisien filter selanjutnya yang menjadi pertimbangan untuk keluaran sinyal hasil filtering. Algoritma adaptasi yang digunakan adalah algoritma LMS (*Least Mean Square*) seperti pada teori sebelumnya.

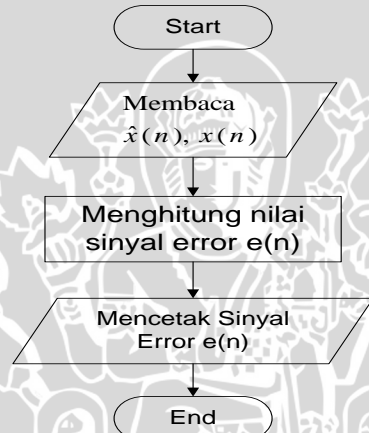


Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan Sinyal.

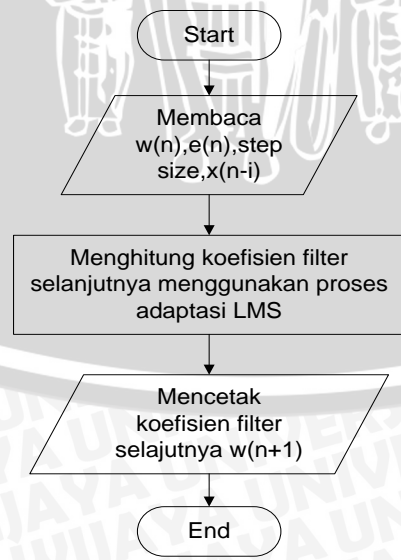
Sumber: Perencanaan



Gambar 3.4 Diagram Alir Proses Pemfilteran Sinyal Keluaran Kanal
Sumber: Perencanaan



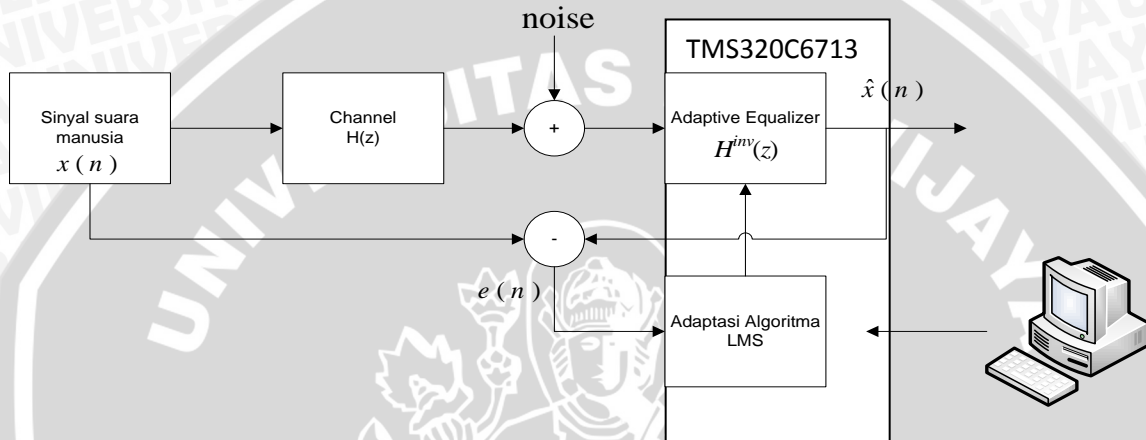
Gambar 3.5 Diagram Alir Proses Pengurangan Sinyal Asli dengan Sinyal Keluaran Kanal
Sumber : Perencanaan



Gambar 3.6 Diagram Alir Proses Adaptasi Algoritma LMS
Sumber : Perencanaan

3.5 Pengujian

Pengujian dilakukan pada masing-masing blok yang dirancang dan filter equalisasi sinyal adaptif secara keseluruhan. Pengujian pada masing-masing blok filter yang dirancang dilakukan untuk melihat kinerja dari blok filter, sedangkan pengujian filter equalisasi sinyal adaptif secara keseluruhan dilakukan untuk melihat tingkat keberhasilan sistem equalisasi sinyal suara secara *real time*. Data pengujian diambil dari subjek secara langsung.

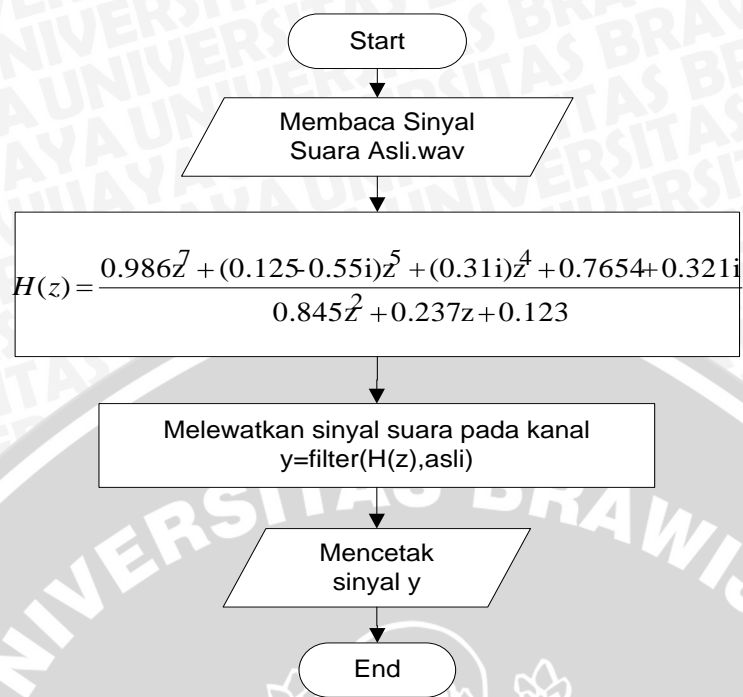


Gambar 3.7 Blok Diagram Equalisasi Sinyal Secara Adaptif

Sumber : Perencanaan

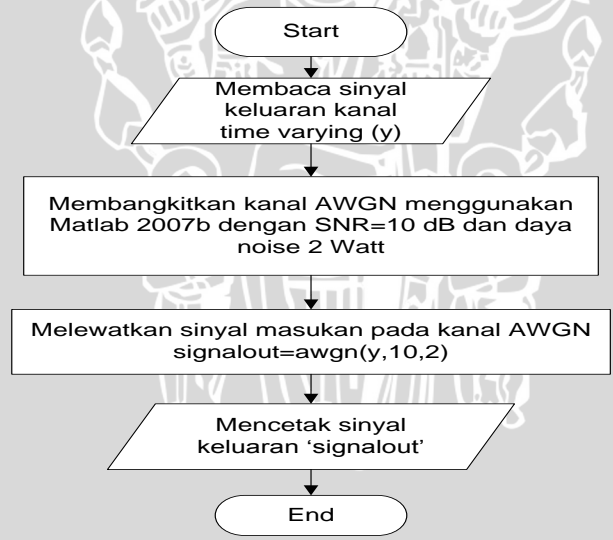
3.5.1 Pengujian Kanal Transmisi Data

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah kanal transmisi data yang dibuat telah mewakili kanal pentransmisi yang terdapat pada sistem komunikasi *wireless*, dan apakah kanal yang dibuat dapat menyebabkan distorsi pada sinyal yang dikirimkan. Kanal ini diuji dengan menggunakan sinyal suara asli.



Gambar 3.8 Diagram Alir Pengujian Kanal *Time Varying*.

Sumber : Perencanaan



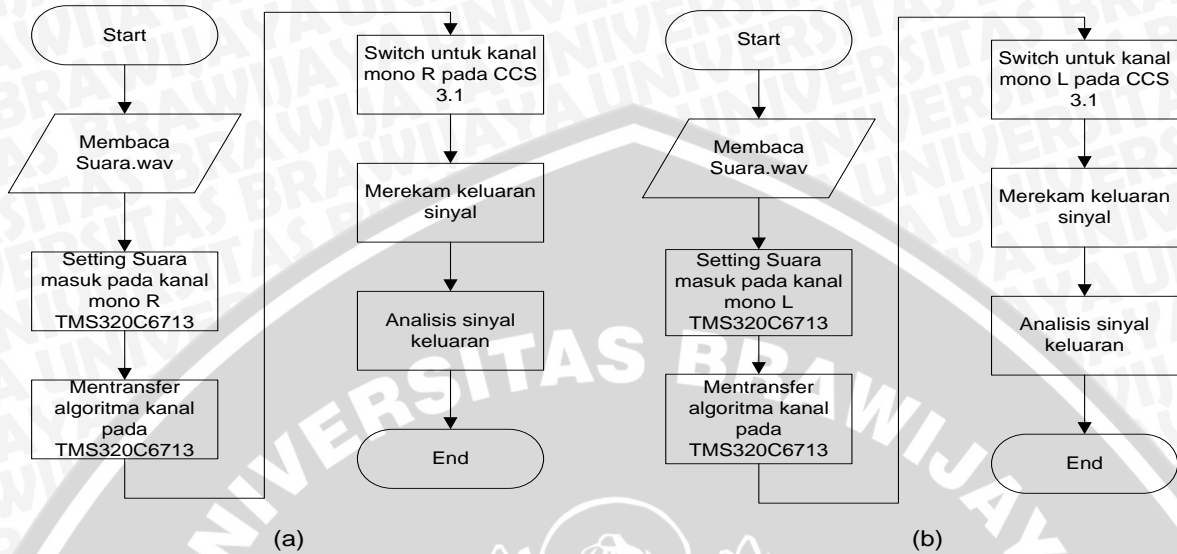
Gambar 3.9 Diagram Alir Pengujian Kanal AWGN.

Sumber : Perencanaan

3.5.2 Pengujian Dua Kanal Masukan TMS320C6713

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah kanal yang dibuat pada *line input* TMS320C6713 bekerja dengan baik dan dapat diolah kemudian. Kanal yang akan diuji adalah kanal mono R dan mono L. Kanal mono R diuji dengan melewati sinyal keluaran

dari kanal transmisi yaitu AWGN atau *time varying*. Kanal mono L diuji dengan melewati sinyal suara asli.

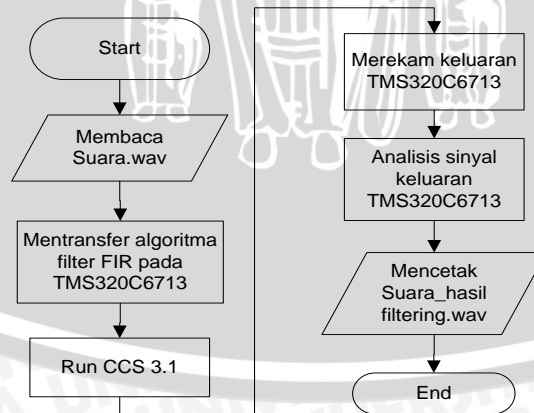


Gambar 3.10 Diagram Alir Pengujian 2 Kanal Masukan (a) Mono R (b) Mono L

Sumber : Perencanaan

3.5.3 Pengujian Filter FIR

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah filter FIR yang dibuat dan direncanakan memiliki kinerja yang cukup baik untuk menjadi filter FIR pada filter equalisasi sinyal adaptif. Pada pengujian Filter FIR ini digunakan algoritma filter adaptif FIR dan ditransfer pada TMS320C6713.

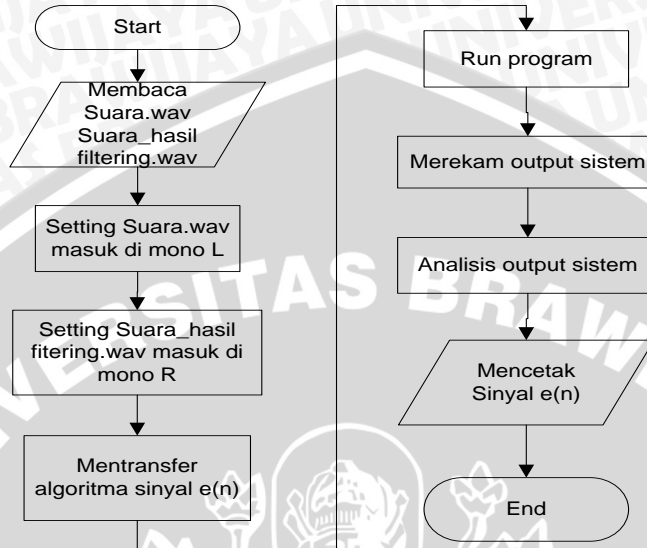


Gambar 3.11 Diagram Alir Pengujian Filter FIR

Sumber : Perencanaan

3.5.4 Pengujian Sinyal e(n)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah sinyal keluaran hasil selisih sinyal suara manusia masukan dengan sinyal keluaran hasil filter dapat bekerja dengan baik.

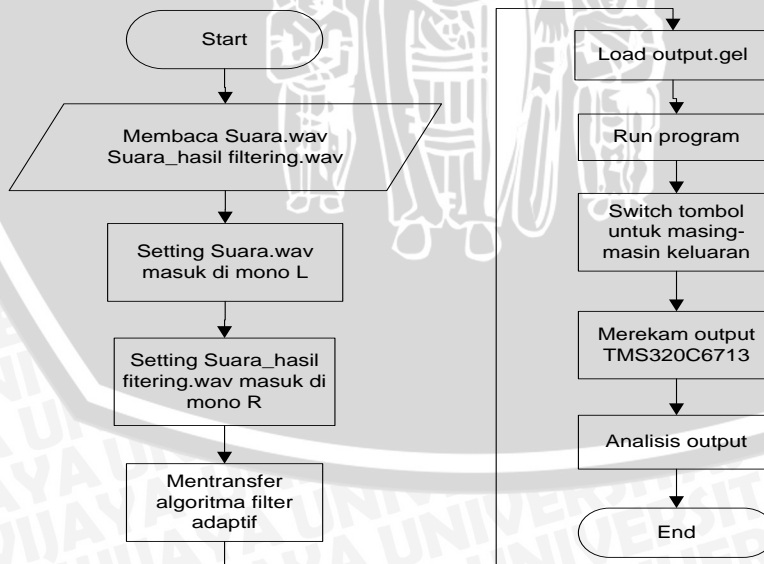


Gambar 3.12 Diagram Alir Pengujian Sinyal e(n)

Sumber : Perencanaan

3.5.5 Pengujian Tombol Pilihan Output

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah tombol pilihan *output* bekerja sehingga keluaran TMS320C6713 bervariasi sesuai dengan tombol yang dirancang.

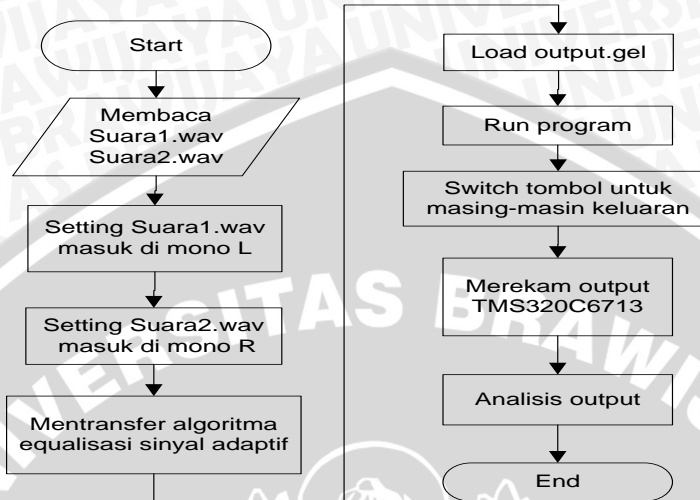


Gambar 3.13 Diagram Alir Pengujian Tombol Pilihan Output

Sumber : Perencanaan

3.5.6 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem dapat berfungsi secara keseluruhan.



Gambar 3.14 Diagram Alir Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

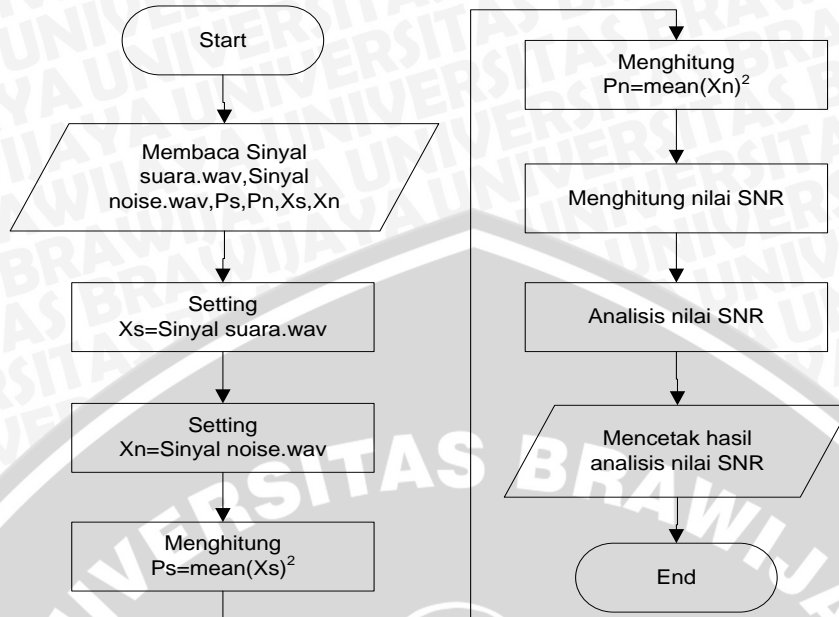
Sumber : Perencanaan

3.6 Analisis

Analisis pada skripsi ini dilakukan dengan mengamati sistem secara keseluruhan. Pengamatan yang dilakukan antara lain :

3.6.1 Analisis *Signal to Noise Ratio* (SNR) Keluaran Kanal

SNR sinyal keluaran kanal adalah perbandingan antara sinyal asli dan sinyal noise setelah keluar dari pentransmisian data melalui kanal AWGN dan *time varying*.

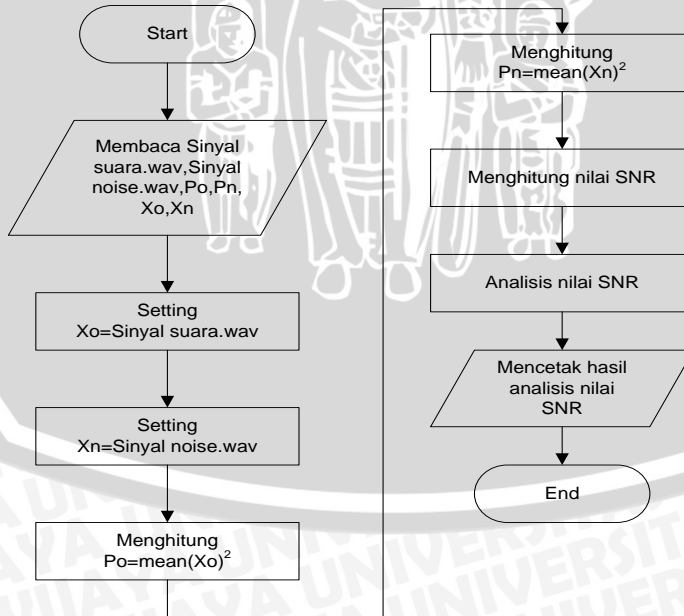


Gambar 3.15 Diagram Alir Perhitungan SNR Keluaran Kanal

Sumber: Perencanaan

3.6.2 Analisis Signal to Noise Ratio (SNR) Keluaran Filter Equalisasi Sinyal

SNR sinyal keluaran filter equalisasi sinyal adalah perbandingan antara sinyal asli dengan sinyal *noise* hasil keluaran dari proses equalisasi sinyal.

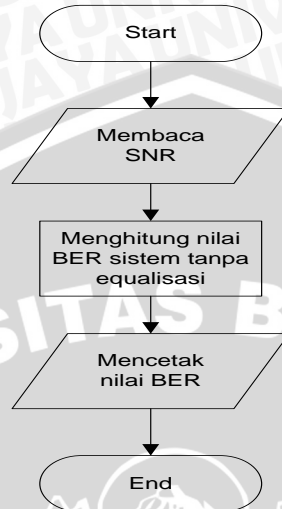


Gambar 3.16 Diagram Alir Perhitungan SNR Keluaran Filter Equalisasi Adaptif

Sumber: Perencanaan

3.6.3 Analisis Bit Error Rate (BER) Sistem Tanpa Equalisasi Sinyal Secara Adaptif

BER sistem tanpa equalisasi sinyal adalah perbandingan bit error terhadap seluruh bit yang ditransmisikan pada saat sinyal telah melewati kanal AWGN dan *time varying*.

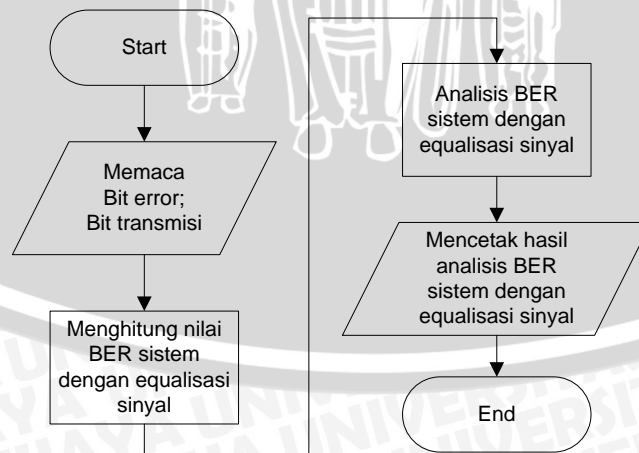


Gambar 3.17 Diagram Alir Perhitungan BER Sistem Tanpa Equalisasi

Sumber : Perencanaan

3.6.4 Analisis Bit Error Rate (BER) Sistem Dengan Equalisasi Sinyal Secara Adaptif

BER sistem dengan equalisasi sinyal secara adaptif adalah perbandingan bit error terhadap seluruh bit yang ditransmisikan setelah melewati proses equalisasi sinyal secara adaptif.



Gambar 3.18 Diagram Alir Perhitungan Nilai BER Sistem dengan Equalisasi Sinyal

Sumber : Perencanaan

3.6.5 Analisis Besar Penghapusan ISI (*Interference Inter Symbol*)

Besar penghapusan ISI dapat dilihat dari selisih antara BER pada sistem tanpa equalisasi dan nilai BER keluaran filter equalisasi sinyal secara adaptif.

3.7 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan ini diambil berdasarkan:

- Hasil pengujian dan analisis performansi algoritma LMS sebagai equalisasi sinyal secara adaptif,
- Hasil penghapusan ISI yang terjadi akibat adanya equalisasi sinyal secara adaptif tersebut.

Sedangkan saran berisi tentang pengembangan sistem yang sudah ada.



BAB IV

PEMBAHASAN DAN HASIL

4.1 Umum

Pada bab ini akan dibahas mengenai perancangan equalisasi adaptif menggunakan algoritma LMS (*Least Mean Square*) dengan memanfaatkan perangkat TMS320C6713, untuk kemudian dilakukan proses pengujian terhadap hasil rancangan beserta sistem pengolahan sinyalnya dan selanjutnya dilakukan pembahasan terhadap hasil pengujian tersebut.

Perancangan yang dimaksud terdiri dari perancangan blok diagram, perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak yang mengacu pada dasar teori pada bab sebelumnya. Hasil yang diharapkan pada proses perancangan ini adalah untuk memberikan acuan dalam menerapkan equalisasi adaptif menggunakan TMS320C6713 yang secara langsung juga menjadi acuan dalam memodelkan sistem dan mengolah sinyal audio sesuai dengan tujuan yang diharapkan.

Proses pengujian dilakukan berdasarkan blok diagram equalisasi adaptif yang diterapkan sebagai penghapus pengaruh distorsi kanal pada sinyal audio menggunakan TMS320C6713. Hasil dari proses pengujian ini akan dianalisis agar dapat diketahui bagaimana performansi secara keseluruhan dari penerapan equalisasi adaptif tersebut dengan menggunakan TMS320C6713.

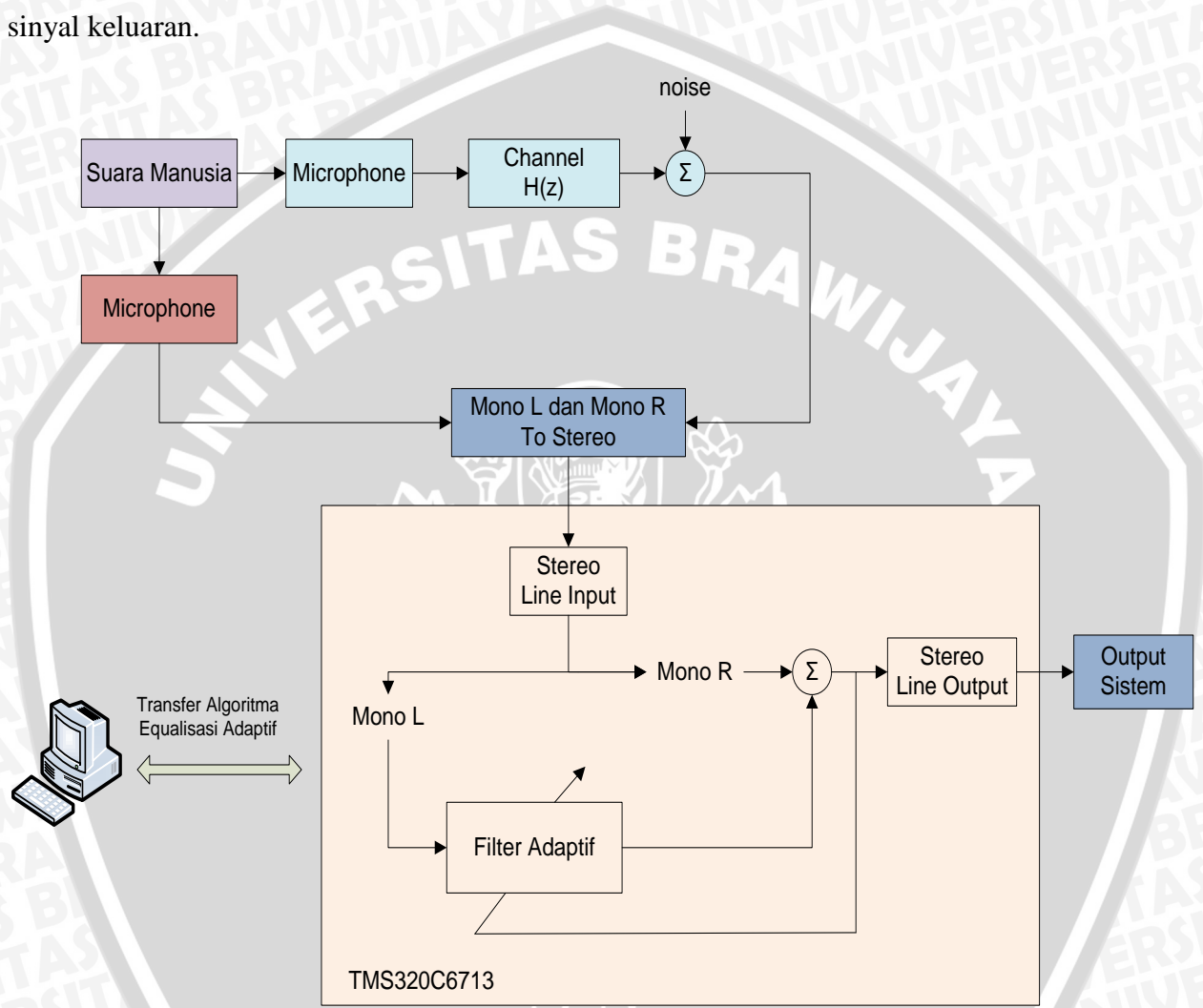
4.2 Perancangan Equalisasi Adaptif Menggunakan Algoritma LMS dengan Memanfaatkan TMS320C6713

Perancangan equalisasi adaptif menggunakan algoritma LMS dengan memanfaatkan perangkat TMS320C6713 dilakukan berdasarkan teori-teori yang telah dibahas sebelumnya. Perancangan ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu :

- perancangan blok diagram,
- perancangan perangkat keras,
- perancangan perangkat lunak.

4.2.1 Perancangan Blok Diagram

Perancangan ini merupakan dasar dalam menggunakan TMS320C6713 sebagai equalisasi adaptif sinyal audio dengan menggunakan algoritma LMS (*Least Mean Square*). Blok diagram yang disusun terdiri dari sinyal masukan, TMS320C6713, komputer, dan sinyal keluaran.



Gambar 4.1 Blok Diagram Penerapan Equalisasi Adaptif Menggunakan TMS320C6713

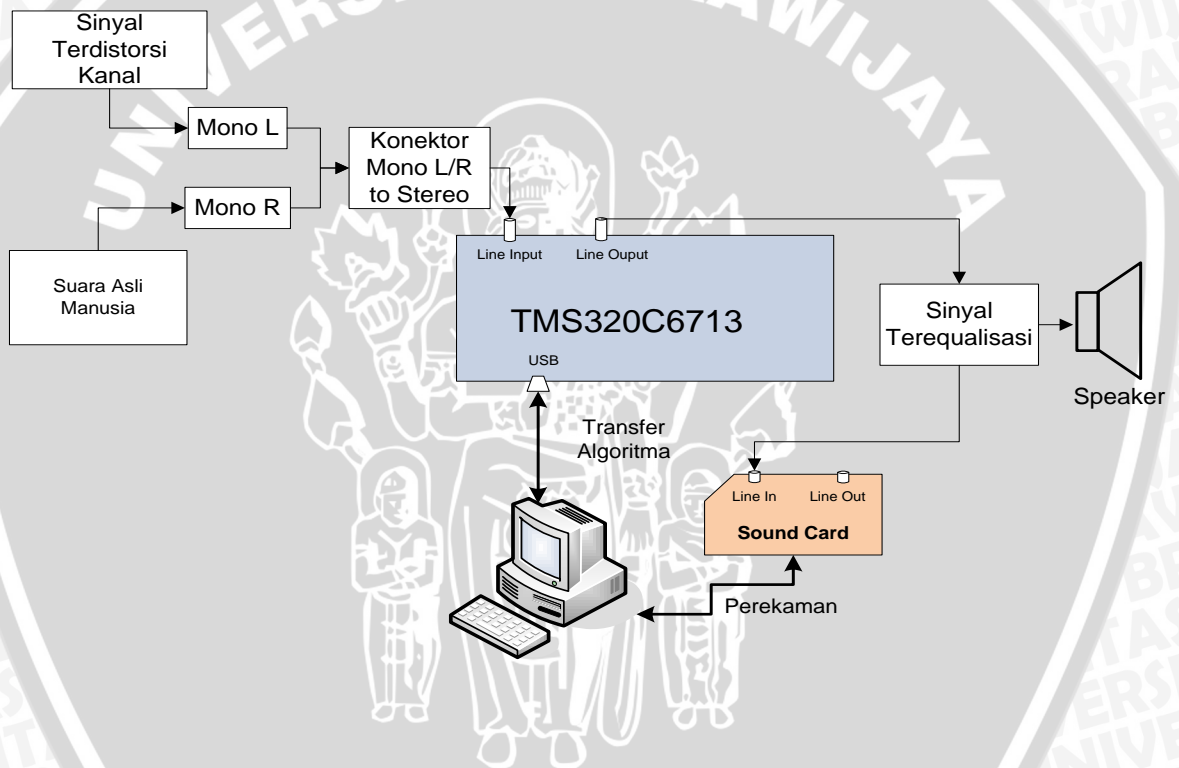
Sumber : Perancangan

Bila blok diagram tersebut digunakan untuk sistem equalisasi suara manusia, maka blok sinyal masukan adalah berupa sinyal sinyal suara asli. Sinyal tersebut akan menjadi masukan TMS320C6713 untuk kemudian diolah berdasarkan algoritma LMS (*Least Mean Square*) yang telah di program pada TMS320C6713 dengan menggunakan komputer. Setelah diolah, blok sinyal keluaran adalah berupa sinyal terequalisasi. Sinyal terequalisasi

ini diharapkan mampu mengurangi efek distorsi dari kanal $H(z)$ sehingga menyerupai sinyal aslinya sebelum dikirimkan.

4.2.2 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras merupakan implementasi dari perancangan blok diagram penerapan algoritma LMS sebagai equalisasi adaptif menggunakan TMS320C6713. Perangkat keras disusun sesuai dengan fungsi dari penerapan equalisasi adaptif, maka blok diagram perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Blok Diagram Perangkat Keras Equalisasi Adaptif

Sumber : Perancangan

Fungsi masing-masing perangkat keras sebagai equalisasi adaptif adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Fungsi Perangkat Keras sebagai Equalisasi Adaptif

| No | Jenis Perangkat Keras | Fungsi | Spesifikasi |
|----|------------------------------|--|--|
| 1 | TMS320C6713 | <i>interface</i> untuk mengolah sinyal sesuai dengan program equalisasi adaptif berdasarkan algoritma LMS yang di- <i>upload</i> menggunakan komputer | Tegangan 5 V, 24-bit stereo <i>codec</i> dengan frekuensi <i>sampling</i> 8kHz sampai 96kHz, terdapat 4 <i>jack</i> untuk <i>microphone</i> , <i>line in</i> , <i>speaker</i> and <i>line out</i> , Embedded JTAG support via USB. |
| 2 | Komputer | meng- <i>upload</i> program equalisasi adaptif berdasarkan algoritma LMS pada TMS320C6713 | Processor Intel Pentium Dual Core (1,7 GHz), memory 512MB RAM, sistem operasi Windows XP, VGA 128 MB, kapasitas <i>harddisk</i> 120GB. |
| 3 | <i>sound card</i> | Sebagai antarmuka antara komputer dengan perangkat TMS320C6713 yang berfungsi sebagai penerima atau pengirim sinyal audio ke/dari media yang diinginkan. | <i>Line in</i> 3,5 mm stereo, <i>line out</i> 3,5 mm stereo, <i>microphone</i> 3,5 mm stereo, <i>digital out</i> , <i>sampling rate</i> 8 kHz sampai 96 kHz, resolusi bit 8 sampai 24 bit. |
| 4 | <i>Microphone</i> | mengubah getaran suara manusia sebagai sinyal suara asli menjadi sinyal listrik | Impedansi $600\Omega \pm 30\%$, sensitifitas -73 dB \pm 3dB, respon frekuensi 20Hz-2000Hz. |
| 5 | <i>Speaker</i> | mengubah sinyal terequalisasi yang berupa sinyal listrik menjadi getaran suara | Frekuensi kerja 20 Hz - 20.000 Hz dan penguatan sampai 10dB. |
| 6 | Konektor audio stereo 3,5 mm | mentransmisikan sinyal audio | Kaber terpilih dengan isolasi plastik dan bahan konduktor tembaga. |

| | | | |
|---|-----------------------------|---|--|
| 7 | Konektor USB 2.0 | Sebagai penghubung antara TMS320C6713 ke komputer untuk mentransfer algoritma yang diberikan. | Kabel Terpilin dengan konektor USB, bekerja pada tegangan 30 V, suhu kerja maksimum 80°C |
| 8 | Konektor Mono R/L to Stereo | menghubungkan sinyal keluaran kanal (mono L) dan sinyal suara asli (mono R) ke <i>line input</i> pada TMS320C6713 | Memiliki 3 <i>jack</i> , 1 <i>jack</i> stereo, 1 <i>jack</i> mono L, 1 <i>jack</i> mono R, tegangan 12 V dan arus 1mA. |

Sumber : Perancangan

Untuk dapat menerapkan equalisasi adaptif sebagai penghapus efek distorsi kanal pada sinyal audio pada TMS320C6713 dengan baik, maka perangkat keras yang digunakan harus memenuhi spesifikasi tertentu, sehingga hal tersebut dapat mengurangi tingkat kesalahan/*error* yang terjadi ketika proses pengujian dilakukan. Spesifikasi yang diperlukan adalah spesifikasi dari perangkat-perangkat keras sebagai berikut :

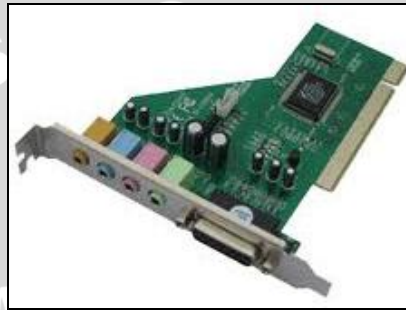
4.2.2.1 Komputer

Komputer berfungsi sebagai perangkat untuk mentransfer algoritma LMS sebagai equalisasi adaptif yang dirancang ke TMS320C6713 dan untuk melakukan proses perekaman dan pemutaran *file* hasil perekaman. Proses transfer algoritma ini melalui perangkat lunak *Code Composer Studio V 3.1* (CCS V3.1) yang ter-*install* pada komputer. Penggunaan software CCS V3.1 mempunyai spesifikasi tertentu untuk dapat bekerja pada komputer dengan optimal. Selain dilengkapi dengan *sound card*, dalam menggunakan CCS V3.1 diperlukan minimal komputer dengan spesifikasi sebagai berikut :

1. *Processor* : Intel Pentium 4
2. *Memory* : 512MB RAM
3. Sistem Operasi : Microsoft Windows XP
4. VGA : 64MB
5. Kapasitas *Hard disk* : 80GB

4.2.2.2 Sound Card

Sound Card yang telah terpasang pada komputer, digunakan untuk melakukan proses perekaman dan pemutaran file hasil perekaman. *Sound card* yang digunakan harus memiliki spesifikasi diantaranya adalah memiliki satu buah *line out* dan *line in* untuk *connector* audio stereo 3,5 mm, memiliki frekuensi *sampling* 16000 Hz dengan resolusi hasil penyamplingan sinyal suara sebesar 16 bit, karena pada TMS320C6713 resolusi bit yang digunakan adalah sebesar 16 bit dan frekuensi *sampling* maksimal pada proses perekaman adalah sebesar 16000 Hz.



Gambar 4.3 *Sound Card*

Sumber: Perangkat Keras yang digunakan dalam perancangan sistem

Pada perancangan ini digunakan *sound card* SigmaTel STAC9220. *Sound Card* tersebut telah memenuhi spesifikasi yang diperlukan oleh sistem yang digunakan Spesifikasi dari SigmaTel STAC9220 dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Spesifikasi Sound Card SigmaTel STAC9220

| No | Keterangan | Spesifikasi |
|----|-----------------------------|---------------------|
| 1 | <i>Line in</i> (1 channel) | 3,5 mm stereo |
| 2 | <i>Line out</i> (1 channel) | 3,5 mm stereo |
| 3 | <i>Sample rate</i> | 8 kHz sampai 96 kHz |
| 4 | Resolusi bit | 8 sampai 24 bit |

Sumber : *Datasheet Hardware*

4.2.2.3 Microphone

Microphone adalah suatu transduser yang digunakan untuk mengubah sinyal suara menjadi sinyal elektrik. Pada perancangan ini *microphone* yang digunakan adalah *dynamic microphone* yang sering digunakan oleh masyarakat umum. Salah satu *microphone* tersebut adalah Boer B-938. Frekuensi kerja *microphone* Boer B-938 sebesar 20 Hz - 20.000 Hz telah memenuhi frekuensi kerja yang digunakan pada sistem, yaitu sebesar 30-3000 Hz. *Output level* maksimal dari *microphone* ini sebesar 1 Vpp juga telah memenuhi *input level* minimal dari TMS320C6713 yaitu sebesar 0,8 Vpp.



Gambar 4.4 *Microphone* BOER

Sumber : Perangkat Keras yang digunakan dalam perancangan sistem

Tabel 4.3 Spesifikasi *Microphone* B-938

| No | Keterangan | Spesifikasi |
|----|------------------|----------------|
| 1 | Impedansi | 600Ω ± 30% |
| 2 | Sensitifitas | -73 dB ± 3 dB |
| 3 | Respon frekuensi | 20 Hz-20000 Hz |

Sumber : *Datasheet Hardware*

4.2.2.4 Speaker

Speaker adalah suatu *electroacoustical transducer* yang mengkonversi suatu gelombang elektrik menjadi gelombang suara atau bunyi. Setiap getaran yang dihasilkan akan berubah menjadi sebuah bunyi yang harmoni dan dapat didengarkan dengan rentan frekuensi tertentu sesuai dengan masukannya. Penggunaan *speaker* dibutuhkan untuk mendengarkan suara dari hasil pengolahan sistem yang dirancang.



Gambar 4.5 *Speaker Logitech s191*

Sumber : Perangkat Keras yang digunakan dalam perancangan sistem

Pada perancangan ini digunakan *speaker* Logitech s191. *Speaker* tersebut telah memenuhi spesifikasi yang diperlukan oleh sistem yang digunakan. Spesifikasi dari *speaker* Logitech s191 dapat dilihat pada tabel berikut.

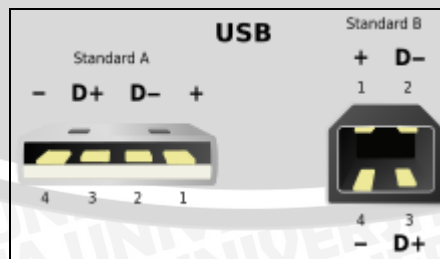
Tabel 4.4 Spesifikasi *speaker* Logitech s191

| Spesifikasi | Keterangan |
|------------------|---------------|
| Impedansi | 4Ω ± 3% |
| Respon Frekuensi | 50 Hz-2000 Hz |
| Daya Output | 0.4 Vpp |

Sumber: *Datasheet Hardware*

4.2.2.5 Kabel USB

Kabel USB merupakan perangkat keras yang menghubungkan antara perangkat TMS320C6713 ke perangkat komputer untuk mentransfer algoritma yang diberikan. Penggunaan kabel USB karena TMS320C6713 membutuhkan kabel ini untuk mentransmisikan instruksi-instruksi programnya. Berikut ini merupakan penjelasan dari pin kabel USB yang digunakan.



Gambar 4.6 Kabel USB

Sumber : Perangkat Keras yang digunakan dalam perancangan sistem

Sedangkan kabel USB ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

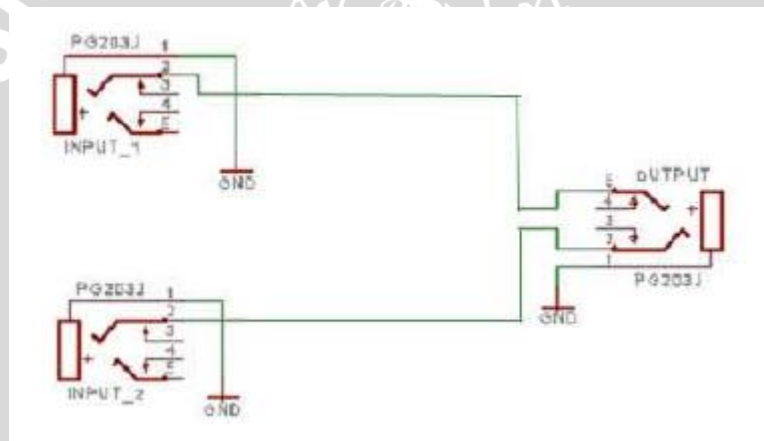
Tabel 4.5 Spesifikasi Kabel USB

| Spesifikasi | Keterangan |
|----------------|--------------|
| Tegangan | 5 V |
| Kecepatan Data | 120 MB/s |
| Suhu Kerja | -55 to +60 C |

Sumber: Datasheet Hardware

4.2.2.6 Konektor Mono R/L to Stereo

Konektor *mono L/R to Stereo* dirancang berguna untuk menghasilkan dua buah sinyal yaitu suara asli dan sinyal terdistorsi kanal. Suara asli masuk pada kanal *left* dan sinyal terdistorsi masuk pada kanal *right* pada konektor ini. Perancangan konektor ini dengan memanfaatkan tiga buah kaki (*left channel, right channel, dan ground*).



Gambar 4.7 Schematic Konektor Mono L/R to Stereo

Sumber : Perangkat Keras yang digunakan dalam perancangan sistem

Perancangan konektor *mono L/R to Stereo* dibuat menggunakan tiga buah konektor *jack* stereo. Dua buah *jack* digunakan sebagai masukan untuk masing-masing kanal mono L dan mono R dan sebuah *jack* lagi sebagai gabungan antara dua buah mono L dan mono R. Keluaran stereo ini yang nantinya digunakan sebagai masukan pada *stereo line input* pada TMS320C6713.

4.2.3 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak ini dibutuhkan untuk mempermudah proses analisis dan untuk menerapkan equalisasi adaptif secara digital, karena nantinya hasil dari perancangan

ini akan diprogram pada TMS320C6713 untuk kemudian dilakukan pengolahan sinyal sesuai dengan perangkat lunak yang telah dirancang.

Berdasarkan blok diagram metode equalisasi adaptif pada Gambar 4.6, maka perancangan perangkat lunak yang diperlukan yaitu :

- Perancangan besar *step size* (μ)
- Perancangan dua kanal masukan pada TMS320C6713
- Perancangan struktur filter *Finite Impuls Response* (FIR) pada TMS320C6713
- Perancangan penghitungan sinyal $e(n)$ pada TMS320C6713
- Perancangan proses *update* koefisien filter
- Perancangan tombol pilihan output pada TMS320C6713

4.2.3.1 Perancangan Besar *Step Size* (μ)

Perancangan faktor *step size* dilakukan dengan pendekatan persamaan pada bab dasar teori berikut ini.

$$0 < \mu < \frac{2}{10NP_x} \tag{4.1}$$

Keterangan:

- μ = *step size*
- N = orde filter
- P_x = daya dari sinyal $x(n)$

Dalam hal ini,

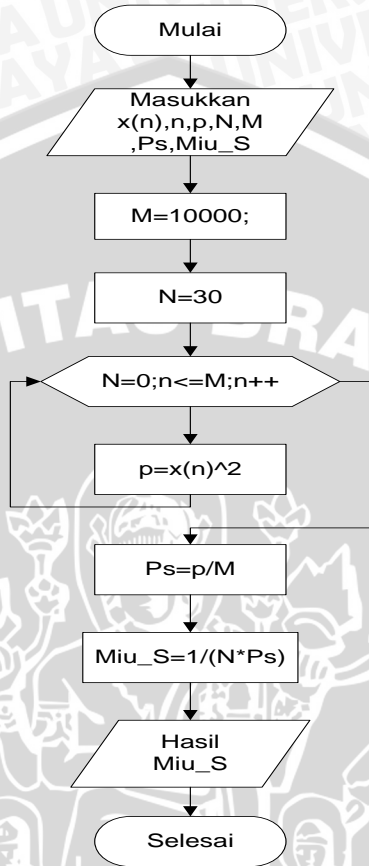
$$P(x) \approx \frac{1}{1+M} \sum_{n=0}^M x^2(n) \tag{4.2}$$

$$P(x) = 0.0531$$

Keterangan:

- P_x = daya dari sinyal $x(n)$
- M = panjang vektor sinyal masukan
- $x(n)$ = sinyal masukan filter
- n = 0,1,2,.....

Dari pernyataan persamaan diatas maka tingkat kestabilan dari faktor *step size* dipengaruhi panjang elemen filter FIR (N) dan daya masukan. Pada skripsi ini digunakan daya masukan dari sinyal suara masukan sebelum masuk filter.



Gambar 4.8 Diagram Alir Proses Penentuan Nilai Maksimum *Step Size* (μ)

Sumber: Perancangan

Nilai panjang elemen filter ditentukan 30 dikarenakan mengacu pada penelitian sebelumnya dimana 30 merupakan nilai terbaik, sedangkan nilai panjang vektor sinyal masukan disesuaikan dengan *sampling rate* sinyal masukan yang digunakan yaitu 16000. Dari perhitungan nilai *step size* maksimum berdasarkan diagram alir pada gambar 4.6 didapatkan nilai *step size* maksimum untuk masukan sinyal suara.

$$0 \leq \mu_s \leq \frac{2}{10.30.0.0531}$$

$$0 \leq \mu_s \leq 0.063$$

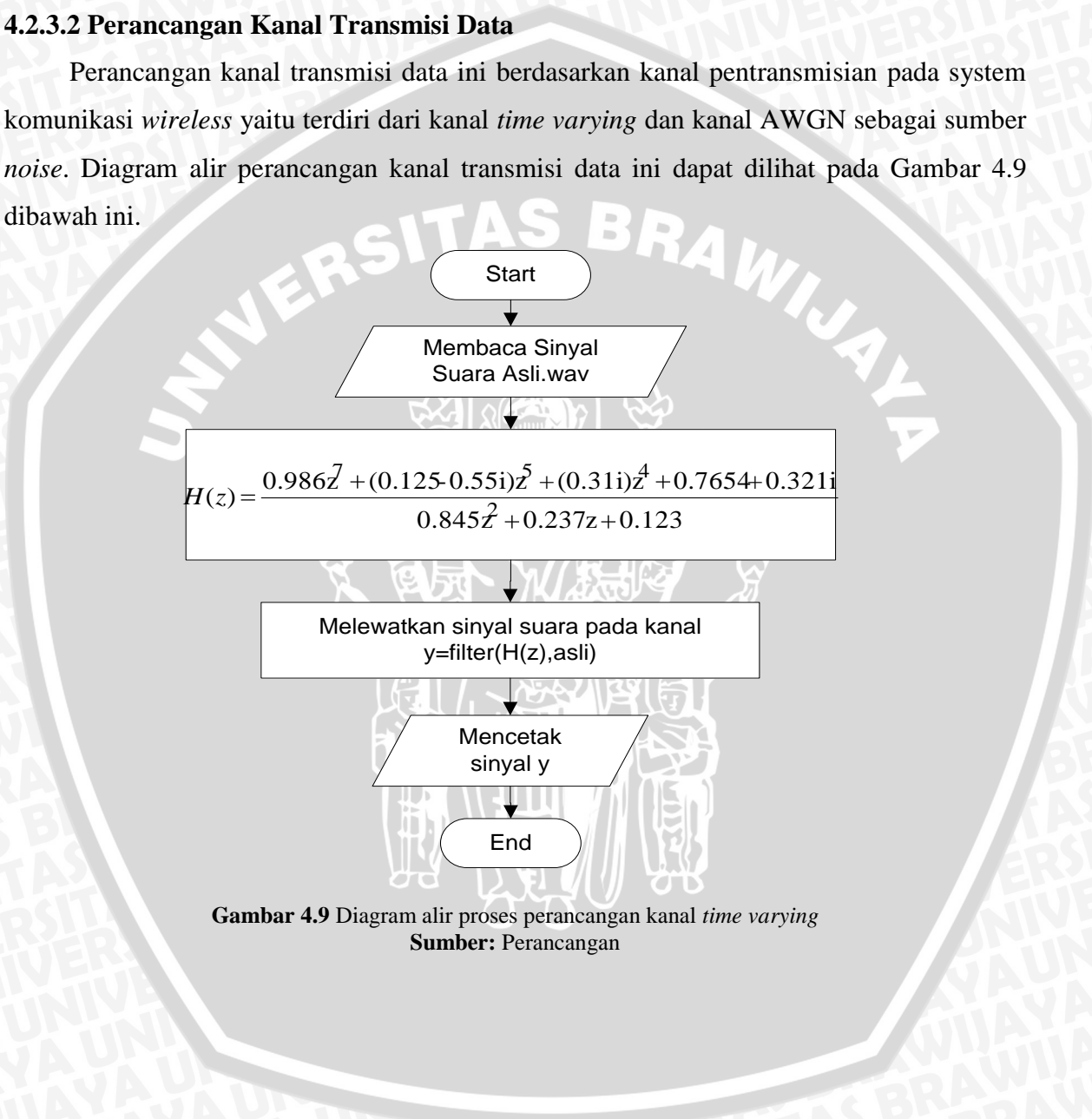
Keterangan:

μ_s = Faktor *step size* untuk suara masukan

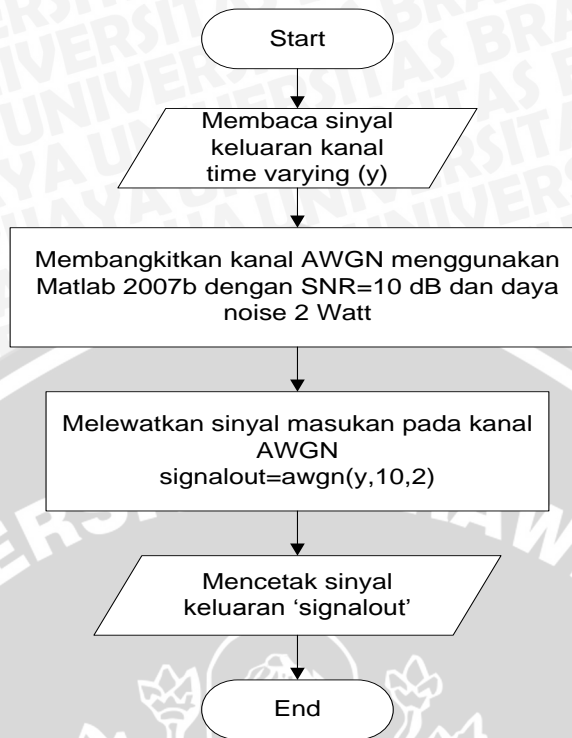
Berdasarkan hasil perancangan bahwa *step size* untuk sinyal suara masukan berkisar antara nol sampai dengan 0.063 , maka pada skripsi ini nilai *step size* dipilih sebanyak sepuluh kali untuk hasil output filter yang paling baik.

4.2.3.2 Perancangan Kanal Transmisi Data

Perancangan kanal transmisi data ini berdasarkan kanal pentransmisian pada system komunikasi *wireless* yaitu terdiri dari kanal *time varying* dan kanal AWGN sebagai sumber *noise*. Diagram alir perancangan kanal transmisi data ini dapat dilihat pada Gambar 4.9 dibawah ini.



Gambar 4.9 Diagram alir proses perancangan kanal *time varying*
Sumber: Perancangan

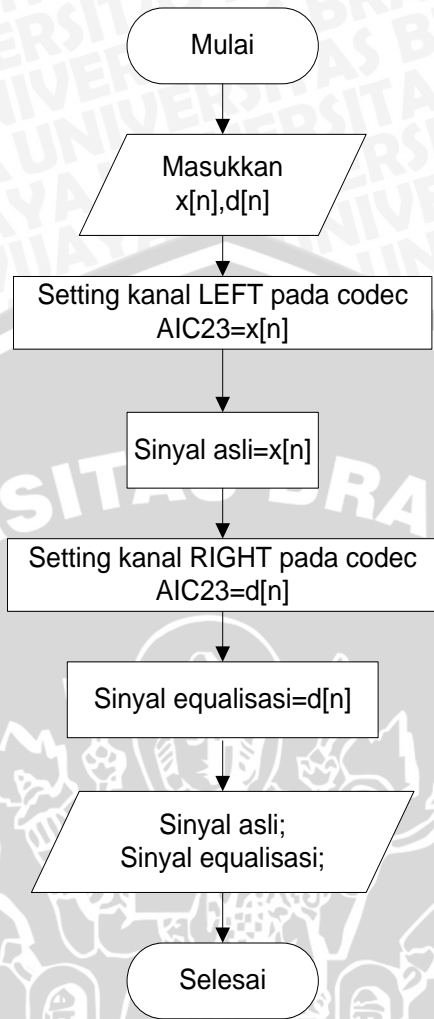


Gambar 4.10 Diagram alir proses perancangan kanal AWGN
Sumber: Perancangan

4.2.3.3 Perancangan Dua Kanal Masukan pada TMS320C6713

TMS320C6713 pada jenis starter kit merupakan jenis *digital signal processor* (DSP) yang memiliki jumlah kanal satu (*single input*). Pada perancangan filter penghapus noise di skripsi ini membutuhkan dua buah kanal input sebagai masukan. Hal ini dapat diatasi dengan mengubah *line in* pada TMS320C6713 yang bersifat stereo dibuahkan menjadi *mono right* dan *mono left*.

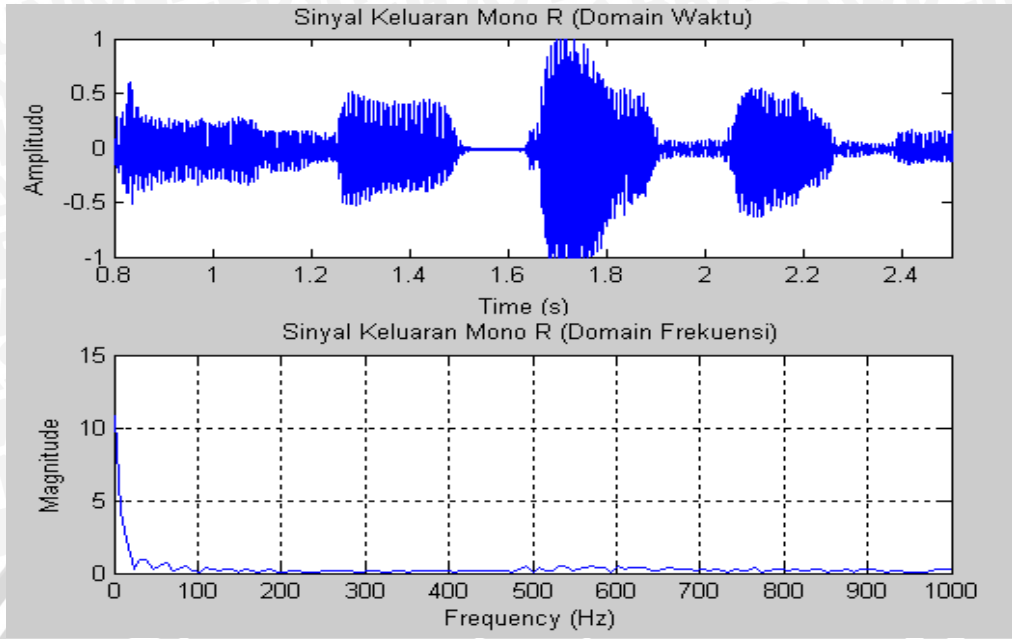
Perancangan pemisahan kanal pada DSP TMS320C6713 dengan memanfaatkan *audio codec* pada TMS320C6713 yaitu AIC23. *Codec* ini memiliki inisialisasi data masukan untuk masing-masing *input sample* yang dibaca dua buah kanal yaitu *left* dan *right*. Oleh karena itu inisialisasi masing-masing kanal untuk masing-masing masukan pada TMS320C6713 dibuat dengan menginisialisasi *channel LEFT* sebagai variabel yang berbeda dengan inisialisasi variabel pada *channel RIGHT* di *codec* AIC23.



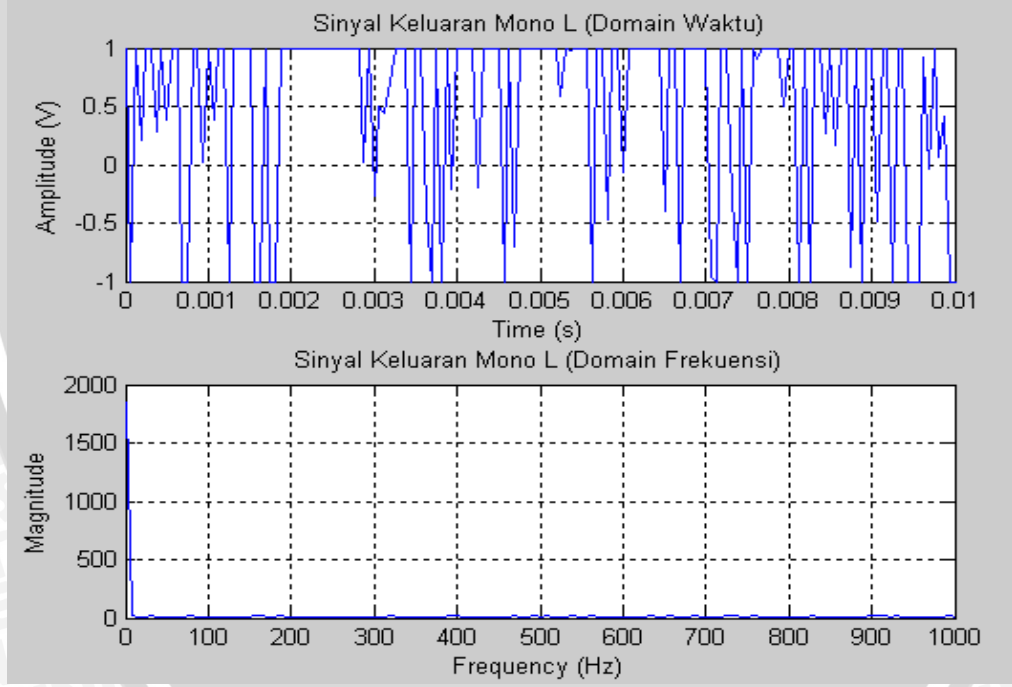
Gambar 4.11 Diagram Alir Proses Perancangan Dua Kanal *Input* pada TMS320C6713

Sumber: Perancangan

Berdasarkan diagram alir 4.11 dapat dijelaskan bahwa sinyal masukan filter terdiri atas dua buah masukan yaitu sinyal suara asli ($x(n)$) dan sinyal asli yang terdistorsi oleh kanal ($d(n)$) dimana masing-masing masuk menjadi input yang berbeda pada TMS320C6713. Sinyal $x(n)$ masuk melalui kanal input *LEFT* TMS320C6713 sedangkan sinyal $d(n)$ masuk melalui kanal input *RIGHT* TMS320C6713.



(a)

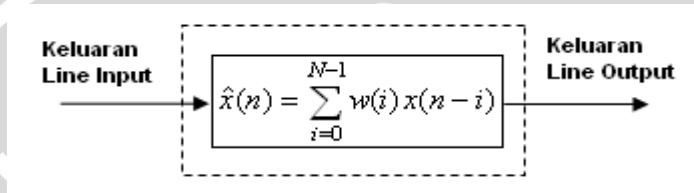


(b)

Gambar 4.12 Hasil Keluaran Perancangan Dua Kanal *Input* Pada TMS320C6713 (a) mono R (b) mono L
Sumber : Perancangan

4.2.3.4 Perancangan Struktur Filter *Finite Impuls Response* (FIR) pada TMS320C6713

Konfigurasi dari filter adaptif salah satunya tersusun atas filter digital dengan struktur FIR. Filter digital ini digunakan sebagai filter equalisasi sinyal adaptif. Persamaan filter ini seperti ditunjukkan pada persamaan 2.14 pada bagian dasar teori sebelumnya dimana nilai dari keluaran filter ini berbanding lurus dengan jumlah sepanjang tingkat orde filter (N) sinyal $x(n)$ dan koefisien filter ($w(n)$). Gambar 4.13 menunjukkan blok diagram filter dengan struktur FIR.



Gambar 4.13 Blok Diagram Filter dengan Struktur FIR

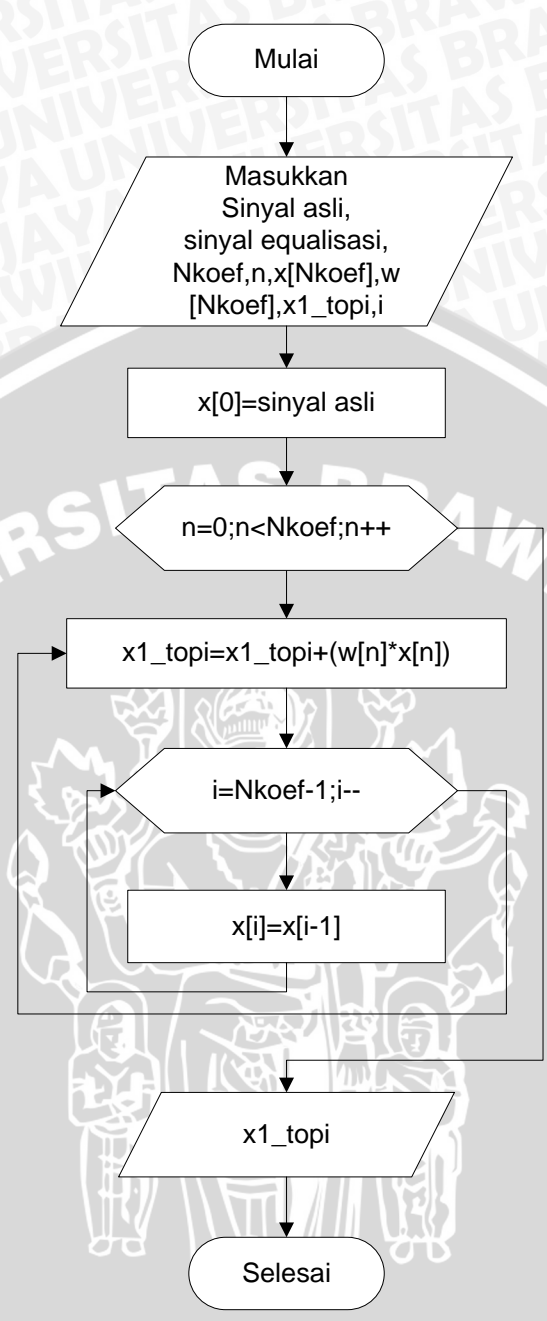
Sumber: Perancangan

Tabel 4.6 Perencanaan Nilai untuk Koefisien dan Output Filter

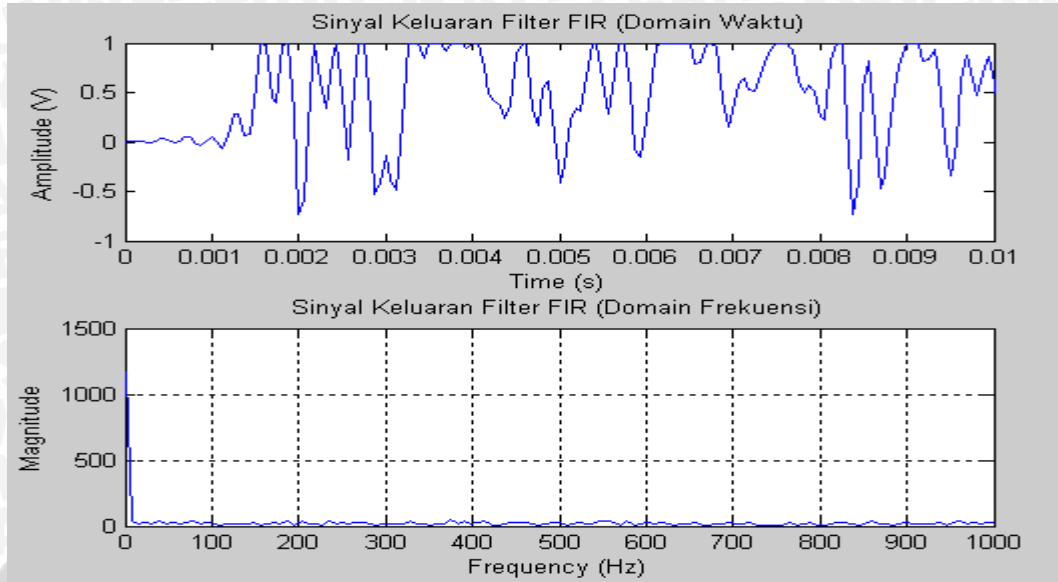
| i | Koefisien Filter | Output |
|-----|------------------|----------------|
| 0 | $w(0)$ | $\hat{x}_1(n)$ |
| 1 | $w(1)$ | $\hat{x}_2(n)$ |
| 2 | $w(2)$ | $\hat{x}_3(n)$ |
| . | . | . |
| . | . | . |
| . | . | . |
| N-1 | $w(N-1)$ | $\hat{x}_N(n)$ |

Sumber: Perancangan

Berdasarkan tabel 4.6 maka pada nilai koefisien filter ke-0, *output* pada filter FIR ke-1. Hal ini berarti inisialisasi awal sinyal masukan filter dibuat dengan memasukkan sinyal tersebut pada tingkat *buffer* ke-0 dimana pada tingkat *buffer* ini merupakan tingkat terendah. Gambar 4.14 menunjukkan diagram alir perancangan filter FIR sesuai dengan Persamaan 2.14 pada dasar teori sebelumnya.



Gambar 4.14 Diagram Alir Proses Perancangan Filter dengan Struktur FIR
Sumber: Perancangan

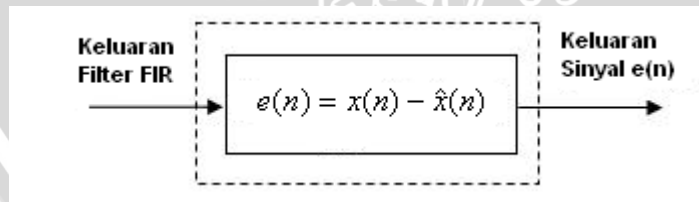


Gambar 4.15 Sinyal Suara “telekomunikasi” Keluaran Filter FIR

Sumber: Perancangan

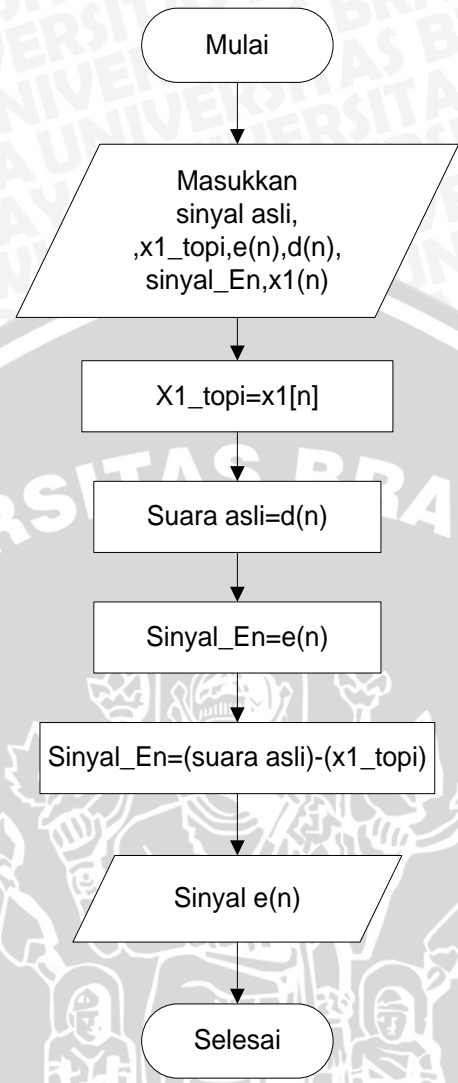
4.2.3.5 Perancangan Perhitungan Sinyal $e(n)$ pada TMS320C6713

Sinyal $e(n)$ merupakan sinyal hasil selisih dua buah sinyal yaitu sinyal suara asli ($d(n)$) dengan sinyal terequalisasi hasil filtering FIR ($\hat{x}_1(n)$). Sinyal ini digunakan sebagai komponen pendukung untuk menentukan nilai *update* koefisien filter selanjutnya. Sinyal $e(n)$ ini dapat dikatakan sebagai sinyal output dari sistem filter adaptif yang dibuat. Hal ini karena pada sinyal ini merupakan pendekatan dari sinyal asli tanpa distorsi ($s(n)$). Gambar 4.16 menunjukkan blok diagram perancangan perhitungan sinyal $e(n)$ sesuai dengan Persamaan 2.12 pada dasar teori sebelumnya.



Gambar 4.16 Blok Diagram Penentuan Sinyal $e(n)$

Sumber: Perancangan



Gambar 4.17 Diagram Alir Proses Penentuan Nilai Sinyal e(n)

Sumber: Perancangan

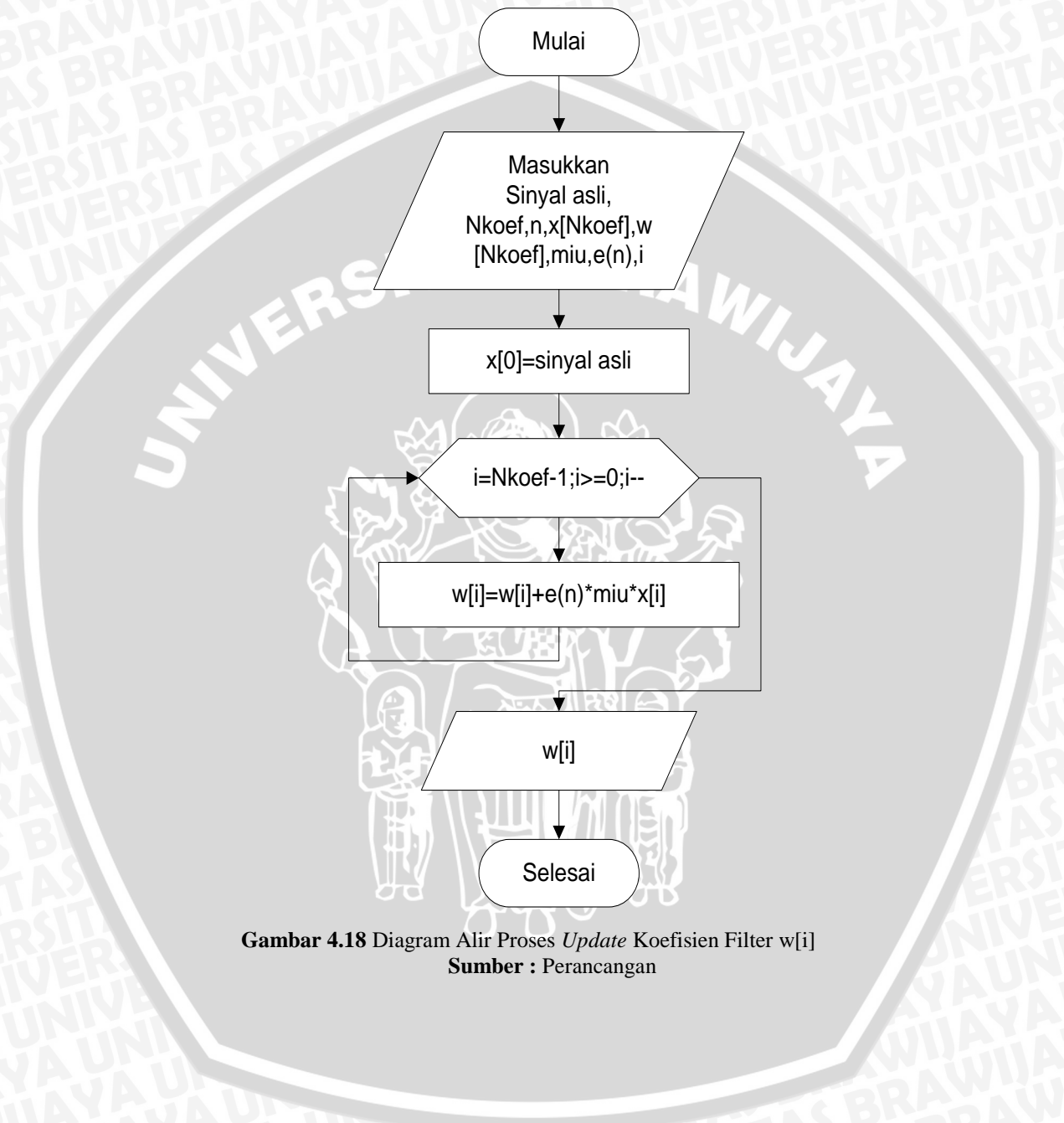
4.2.3.6 Perancangan Proses Update Koefisien Filter

Proses *update* koefisien filter pada skripsi ini menggunakan algoritma LMS. Pada metode LMS, koefisien filter tingkat selanjutnya berbanding lurus pada nilai faktor *step size*, sinyal e(n) dan sinyal x(n-i).

$$w(i+1) = w(i) + \mu 2e(n)x(n-i) \tag{4.3}$$

Faktor *step size* merupakan ketetapan/konstanta sesuai dengan pendekatan pada subbab sebelumnya. Sinyal e(n) didapatkan dari perhitungan selisih sinyal suara asli dengan sinyal output filter. Sinyal x(n-i) merupakan sinyal yang didapat untuk iterasi ke-i dimana dalam hal ini i merupakan N-1. N adalah orde filter. Gambar 4.18 merupakan

diagram alir perancangan *update* koefisien filter sesuai dengan Persamaan 2.20 pada dasar teori sebelumnya.



Gambar 4.18 Diagram Alir Proses *Update* Koefisien Filter $w[i]$
Sumber : Perancangan

Tabel 4.7 Hasil Keluaran Nilai *Update* Filter Untuk Sinyal Terdistorsi

| No | Koefisien Filter | Nilai |
|----|------------------|--------|
| 1 | w[1] | 0.0084 |
| 2 | w[2] | 0.0095 |
| 3 | w[3] | 0.0168 |
| 4 | w[4] | 0.0154 |
| 5 | w[5] | 0.0182 |
| 6 | w[6] | 0.0202 |
| 7 | w[7] | 0.0161 |
| 8 | w[8] | 0.0259 |
| 9 | w[9] | 0.0197 |
| 10 | w[10] | 0.0209 |
| 11 | w[11] | 0.0146 |
| 12 | w[12] | 0.0245 |
| 13 | w[13] | 0.0228 |
| 14 | w[14] | 0.0141 |
| 15 | w[15] | 0.0172 |
| 16 | w[16] | 0.009 |
| 17 | w[17] | 0.0086 |
| 18 | w[18] | 0.0003 |
| 19 | w[19] | 0.0016 |
| 20 | w[20] | 0.0023 |
| 21 | w[21] | 0.0027 |
| 22 | w[22] | 0.0071 |
| 23 | w[23] | 0.0018 |
| 24 | w[24] | 0.0066 |
| 25 | w[25] | 0.0045 |
| 26 | w[26] | 0.001 |
| 27 | w[27] | 0.0043 |
| 28 | w[28] | 0.0103 |
| 29 | w[29] | 0.0052 |
| 30 | w[30] | 0.0023 |

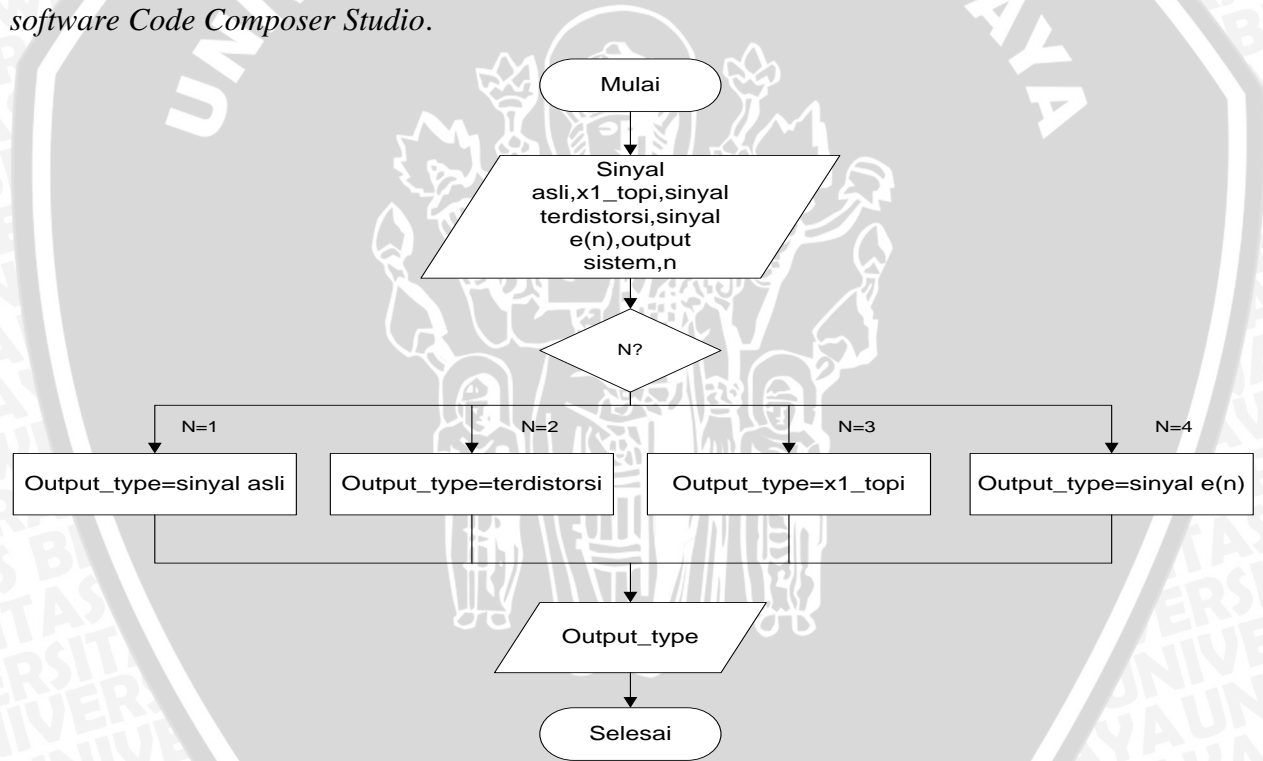
Sumber : Perancangan

4.2.3.7 Perancangan Tombol Pilihan *Output* pada TMS320C6713

Komponen tambahan yang dimaksud dalam perancangan adalah merancang tombol pilih untuk keluaran output TMS320C6713 dengan memanfaatkan file GEL. Komponen ini dibuat untuk memudahkan dalam melakukan pemindahan output TMS320C6713 untuk mengamati keluaran filter. Tombol pilihan output merupakan tombol untuk memindah atau mengatur keluaran filter. Keluaran filter yang dirancang pada skripsi ini terdiri atas :

1. Keluaran sinyal suara asli
2. Keluaran sinyal terdistorsi kanal
3. Keluaran sinyal $e(n)$
4. Keluaran sistem (sinyal suara hasil equalisasi adaptif)

Ke-4 macam pilihan keluaran tersebut dibuat dengan memanfaatkan *file* GEL pada *software Code Composer Studio*.



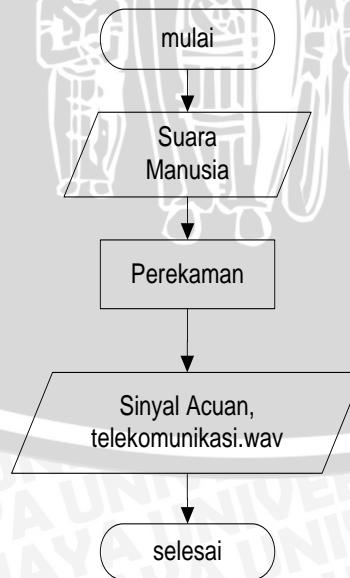
Gambar 4.19 Diagram Alir Proses Pilih *Output* Filter
Sumber : Perancangan



Gambar 4.20 Tampilan Tombol Pilihan *Output* pada CCS 3.1
Sumber : Hasil Perancangan

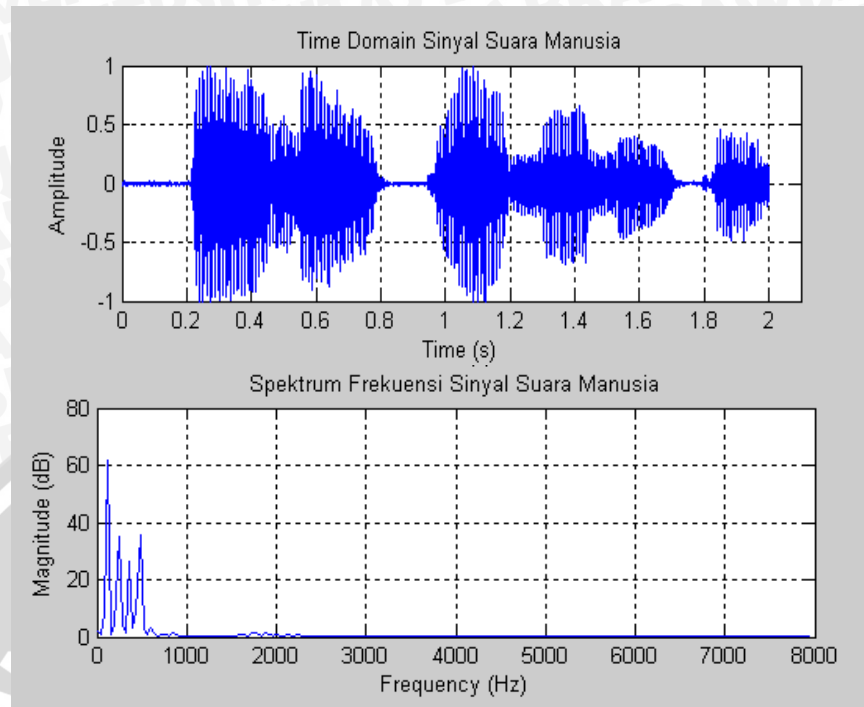
4.3 Pengambilan Suara Manusia

Perekaman suara manusia ini bertujuan untuk memperoleh sinyal suara manusia sebagai sinyal acuan sebelum dilakukan proses equalisasi adaptif. Dilakukan proses perekaman adalah untuk mendapatkan sinyal suara manusia yang sama pada saat melakukan proses pengujian. Suara manusia yang direkam adalah suara manusia dengan ucapan "telekomunikasi", kata tersebut dipilih karena mengandung 5 huruf vokal. Proses perekaman suara menggunakan *software Windows Sound Recorder*. Pada proses perekaman suara, frekuensi *sampling* diset sebesar 16 kHz. Hasil perekaman tersebut disimpan sebagai file telekomunikasi.wav.



Gambar 4.21 Diagram Alir Pengambilan Sinyal Suara Asli

Sumber : Perancangan



Gambar 4.22 Sinyal Suara Manusia dengan Ucapan Kata "telekomunikasi"
Sumber : Hasil Perancangan

4.4 Pengujian dan Analisis

Pengujian dan analisis dari sistem equalisasi sinyal secara adaptif menggunakan algoritma LMS terdiri dari beberapa tahapan. Pengujian dan analisis yang pertama adalah pada masing-masing blok diagram pada perancangan yang dibuat. Blok-blok yang diuji antara lain:

1. Pengujian Kanal Transmisi Data
2. Pengujian 2 Kanal Masukan pada TMS320C6713
3. Pengujian Filter FIR pada TMS320C6713
4. Pengujian Sinyal $e(n)$ pada TMS320C6713
5. Pengujian Tombol Pilihan Output pada TMS320C6713

Setelah itu dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan. Data hasil pengujian selanjutnya akan dianalisis untuk dijadikan acuan dalam mengambil kesimpulan. Pengujian sistem dilakukan di Laboratorium Telekomunikasi Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

4.4.1 Pengujian Kanal Transmisi Data

Pengujian kanal transmisi data adalah prosedur pengujian dari perancangan kanal transmisi data.

4.4.1.1 Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah kanal transmisi data yang dibuat telah mewakili kanal pentransmisi yang terdapat pada sistem komunikasi *wireless*, dan apakah kanal yang dibuat dapat menyebabkan distorsi pada sinyal yang dikirimkan. Kanal ini diuji dengan menggunakan sinyal suara asli.

4.4.1.2 Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan dalam pengujian kanal transmisi data ini antara lain:

1. Komputer
2. Software Matlab 2007b

4.4.1.3 Prosedur Pengujian

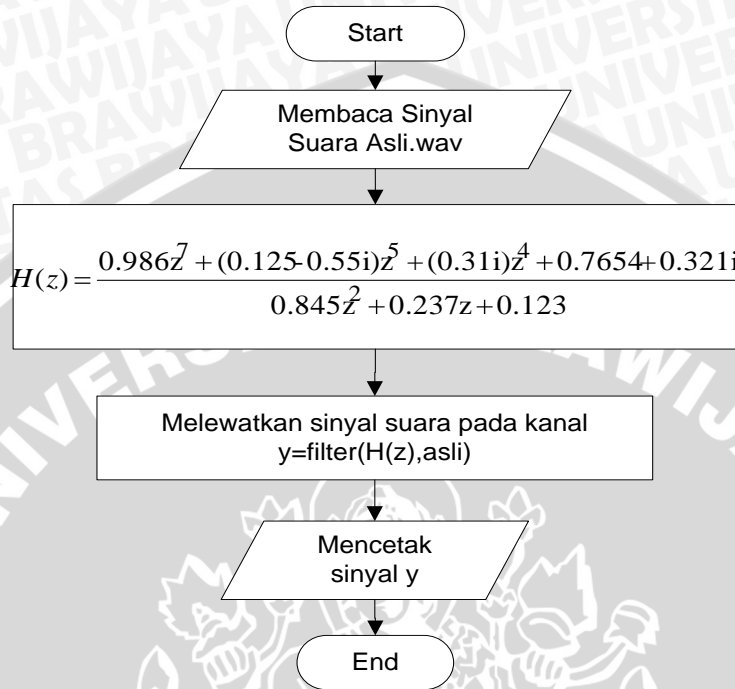
Prosedur pengujian kanal transmisi data ini ada beberapa tahapan yaitu pengujian kanal *time varying* dan kanal AWGN. Tahapan – tahapan dalam pengujian kanal *time varying* antara lain sebagai berikut :

1. Membaca sinyal masukan sinyal asli
2. *Setting* nilai $H(z)$ kanal seperti yang telah ditentukan
3. Melewatkan sinyal suara asli pada kanal dengan menggunakan perintah pada Matlab 2007b
4. *Plot* sinyal hasil keluaran
5. Merekam output sistem kedalam *file wav*
6. Menganalisis sinyal hasil rekaman.

Sedangkan tahapan – tahapan dalam pengujian kanal AWGN antara lain sebagai berikut :

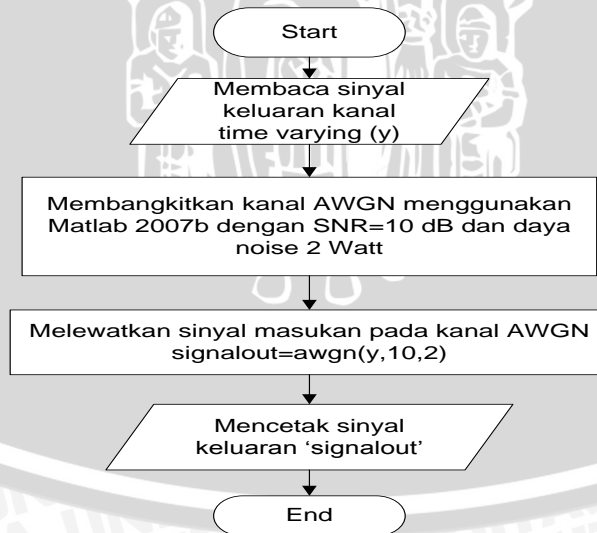
1. Membaca sinyal masukan berupa sinyal keluaran kanal *time varying*.
2. *Setting* kanal AWGN dengan nilai SNR 10 dB dan daya sinyal *noise* sebesar 2 Watt.
3. Melewatkan sinyal suara asli pada kanal AWGN dengan menggunakan perintah pada Matlab 2007b

4. *Plot* sinyal hasil keluaran
5. Merekam output sistem kedalam *file* wav
6. Menganalisis sinyal hasil rekaman.



Gambar 4.23 Diagram Alir Pengujian Kanal *Time Varying*.

Sumber : Perencanaan

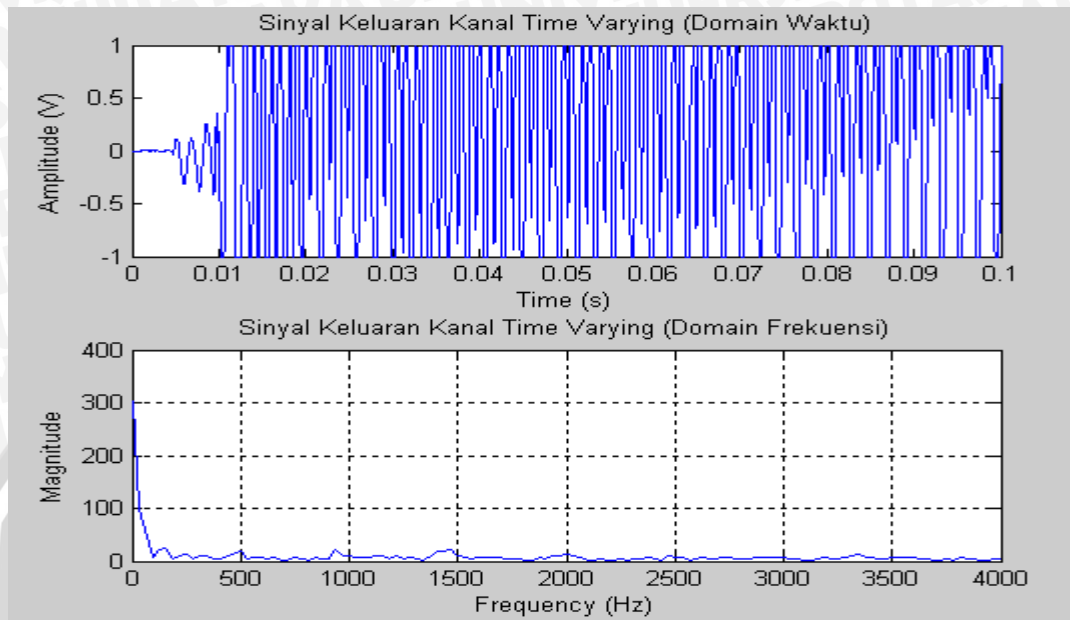


Gambar 4.24 Diagram Alir Pengujian Kanal AWGN.

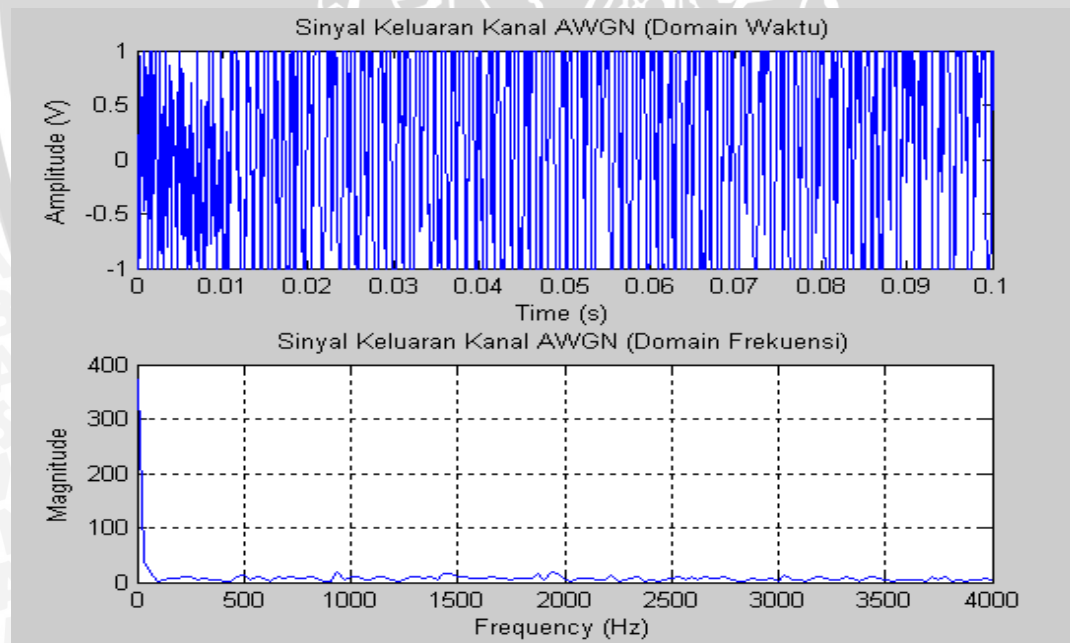
Sumber : Perencanaan

4.4.1.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian didapatkan dua buah sinyal hasil perekaman dari dua pengujian untuk kanal *time varying* dan kanal AWGN.



(a)



(b)

Gambar 4.25 Hasil pengujian (a) Kanal *time varying* (b) AWGN

Sumber: Pengujian

4.4.1.5 Analisis Hasil Pengujian

Hasil pengujian pada gambar 4.25a menunjukkan bahwa pada saat diberi masukan berupa sinyal suara dengan kata "telekomunikasi" keluaran kanal *time varying* mengalami perubahan yaitu kata 'telekomunikasi' terdengar tidak jelas dan putus-putus. Kemudian setelah melewati kanal AWGN pada Gambar 4.25b kata 'telekomunikasi' sama sekali tidak terdengar yang terdengar hanya suara *noise*.

4.4.1.6 Kesimpulan dari Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa perancangan kanal transmisi telah berhasil karena sinyal keluaran kanal terdistorsi sesuai dengan teori.

4.4.2 Pengujian 2 Kanal Masukan pada TMS320C6713

Pengujian 2 kanal masukan TMS320C6713 adalah prosedur pengujian dari perancangan kanal TSM320C613 menjadi mono L dan mono R.

4.4.2.1 Tujuan

Tujuan pengujian 2 kanal masukan pada TMS320C6713 adalah untuk mengetahui keluaran dari masing-masing masukan kanal pada mono L dan mono R apakah sesuai dengan sinyal masukan sebelum melewati kanal.

4.4.2.2 Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan dalam pengujian 2 kanal masukan pada TMS320C6713 antara lain:

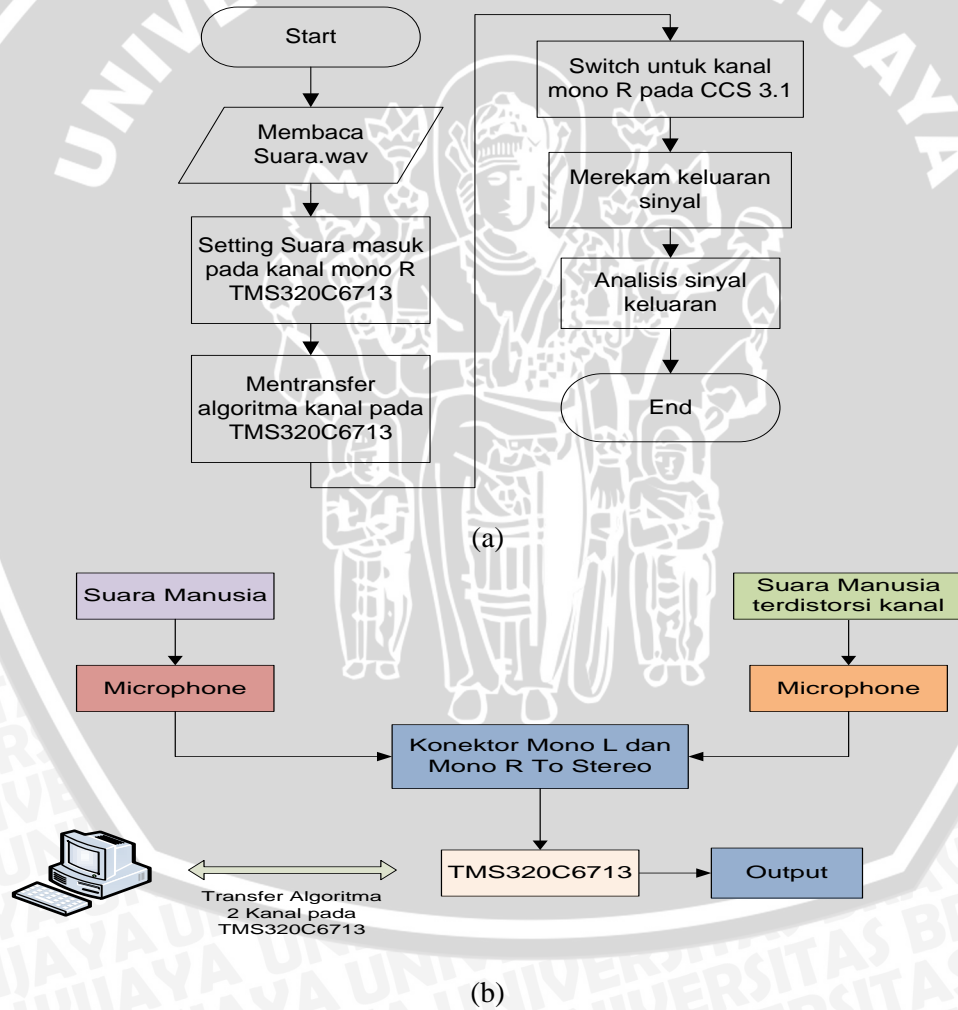
1. TMS320C6713
2. Komputer
3. Software Cool Edit Pro 2
4. Software CCS 3.1

4.4.2.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian 2 kanal masukan TMS320C6713 terdiri atas beberapa tahapan. Masing-masing tahapan dilakukan dengan menggunakan TMS320C6713 dan komputer

sebagai alat transfer algoritma dan sebagai perekam sinyal output sistem. Tahapan – tahapan dalam pengujian antara lain sebagai berikut :

1. Membaca sinyal masukan sinyal terdistorsi kanal dan sinyal suara
2. *Setting* sinyal terdistorsi kanal pada kanal mono L
3. *Setting* sinyal suara pada kanal mono R
4. Mentransfer algoritma 2 kanal pada TMS320C6713 melalui CCS 3.1
5. *Run* CCS 3.1
6. *Switch* secara bergantian untuk output file mono L dan mono R
7. Merekam output sistem kedalam *file* wav
8. Menganalisis sinyal hasil rekaman.



Gambar 4.26 Pengujian Kanal Masukan Mono R TMS320C6713 (a) Diagram Alir ,

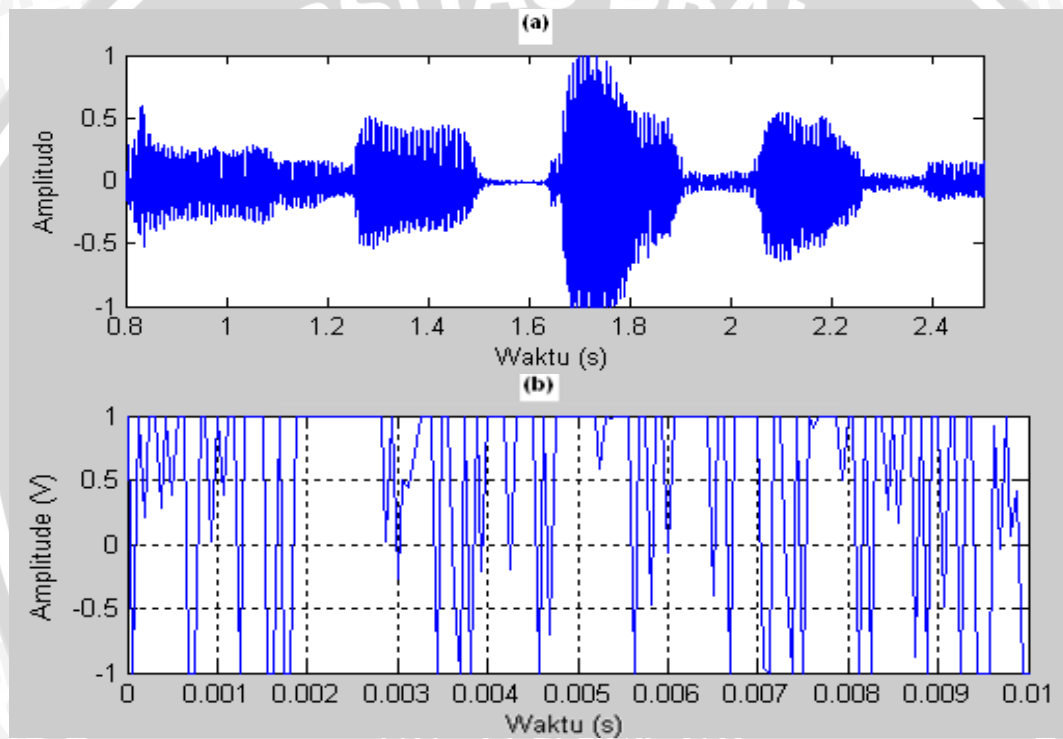
(b) Konfigurasi Pengujian

Sumber : Pengujian

Konfigurasi pengujian 2 kanal masukan pada TMS320C6713 dibuat sesuai dengan diagram alir dari pada gambar 4.26(a). Sumber suara terdistorsi dipasang pada kanal L (mono L) dan sumber suara dipasang pada kanal R (mono R). Keluaran dari TMS320C6713 pada line output dihubungkan dengan alat perekam. Dalam skripsi ini digunakan komputer sebagai alat perekam sinyal hasil keluaran.

4.4.2.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian didapatkan dua buah sinyal hasil perekaman dari dua pengujian untuk masukan sumber suara dan sumber suara terdistorsi.



Gambar 4.27 Hasil Pengujian 2 Kanal Masukan (a) sinyal suara asli (b) sinyal suara terdistorsi
Sumber : Pengujian

4.4.2.5 Analisis Hasil Pengujian

Hasil pengujian pada gambar 4.27 menunjukkan bahwa pada saat diberi masukan berupa sinyal suara dengan kata "telekomunikasi" keluaran dari TMS320C6713 pada kanal kanan *line input* TMS320C6713 menunjukkan hal yang sama dengan masukan dari TMS320C6713. Begitu juga untuk masukan berupa sumber suara terdistorsi pada kanal kiri *line input*, keluaran dari TMS320C6713 berupa sinyal suara terdistorsi. Hal ini

menunjukkan bahwa kanal masukan bekerja dengan baik karena sinyal masukan sama dengan sinyal keluaran.

4.4.2.6 Kesimpulan dari Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa perancangan 2 kanal masukan *line input* dapat memberikan keluaran yang sama dengan masukan TMS320C6713.

4.4.3 Pengujian Filter FIR pada TMS320C6713

Pengujian filter FIR pada TMS320C6713 merupakan prosedur pengujian dari perancangan filter FIR pada perangkat TMS320C6713.

4.4.3.1 Tujuan

Tujuan pengujian filter FIR adalah untuk mengkaji sinyal keluaran filter FIR yang dirancang pada TMS320C6713.

4.4.3.2 Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan dalam pengujian filter FIR antara lain :

1. TMS320C6713
2. Komputer
3. *Software CCS 3.1*
4. *Software Cool Edit Pro 2*

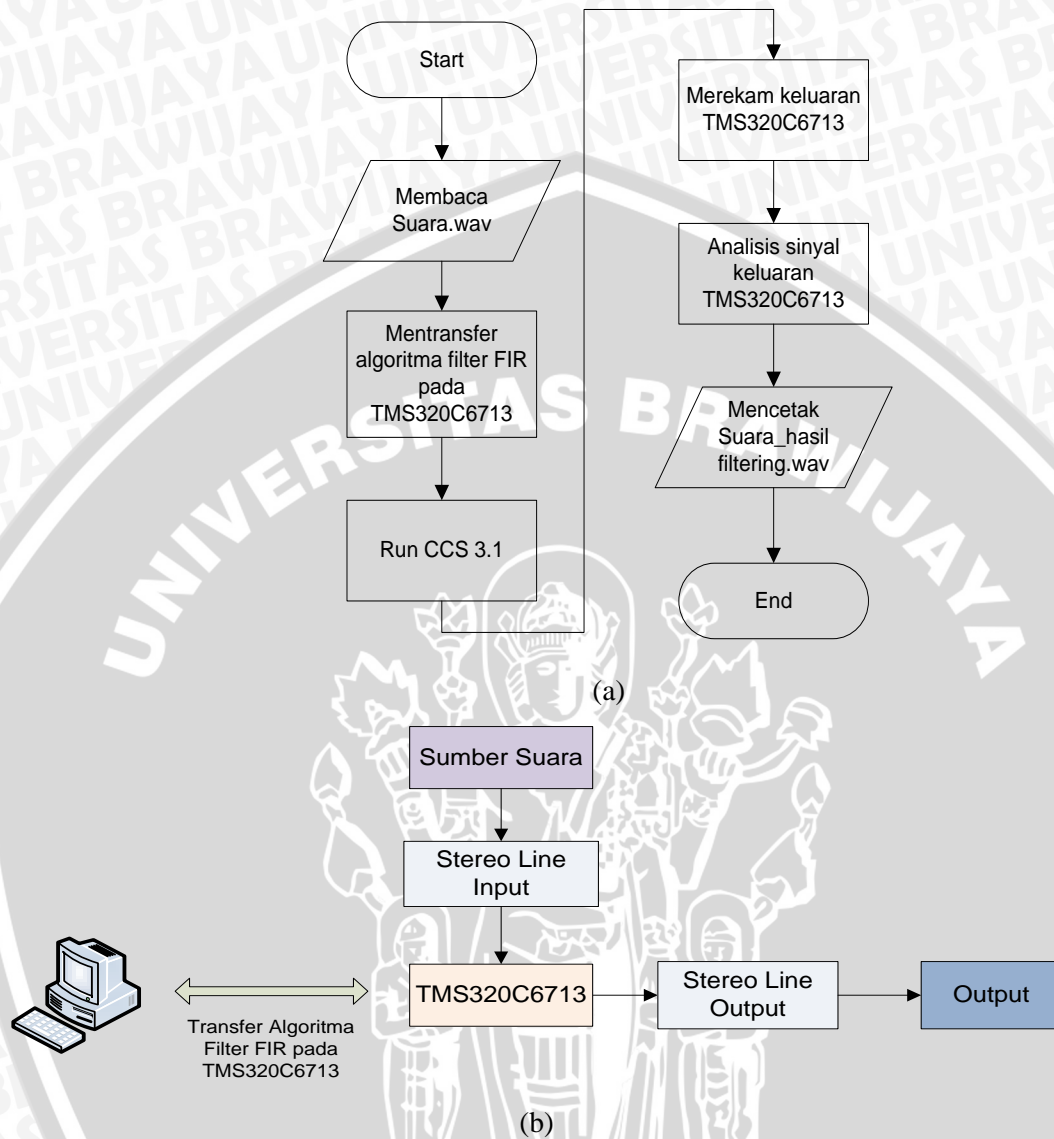
4.4.3.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian filter FIR terdiri atas beberapa tahapan. Masing-masing tahapan didimplementasikan pada TMS320C6713 yang telah ditransfer algoritma TMS320C6713.

Tahapan-tahapan tersebut antara lain adalah

1. Membaca sinyal masukan suara.wav pada kanal input
2. Mentransfer algoritma filter FIR pada TMS320C6713
3. *Run CCS 3.1*
4. Merekam sinyal keluaran dalam bentuk file .wav
5. Melakukan analisis sinyal keluaran.

6. Mencetak suara_hasil filtering.wav



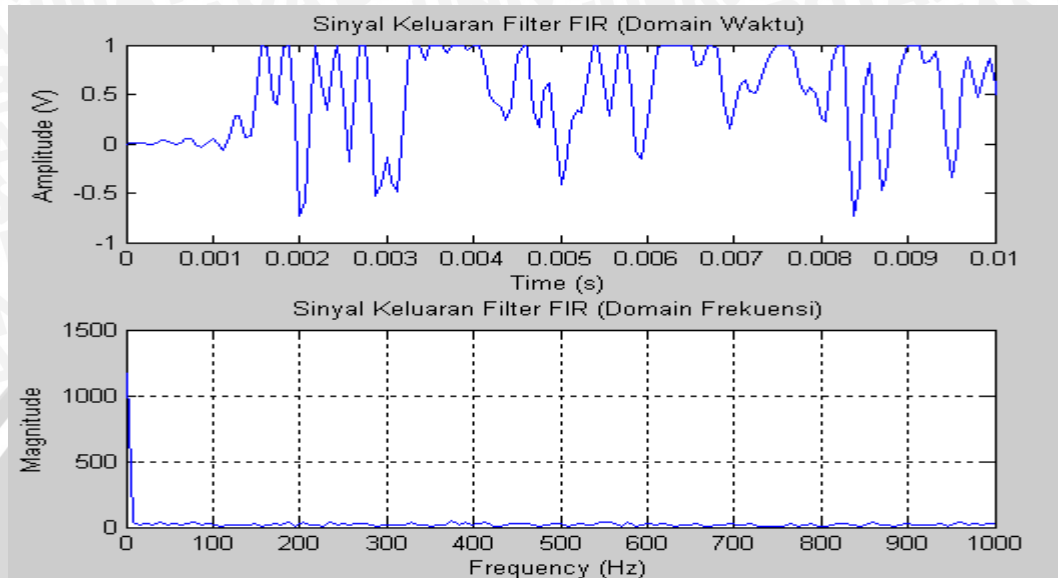
Gambar 4.28 Pengujian Filter FIR (a) Diagram Alir (b) Konfigurasi Pengujian

Sumber : Pengujian

Konfigurasi pengujian filter FIR pada TMS320C6713 dibuat sesuai dengan diagram alir dari pada Gambar 4.28 (a). Sumber sinyal yang dipasang pada pengujian ini adalah sinyal suara manusia yang terdistorsi kanal dari perancangan. Keluaran dari TMS320C6713 pada line output dihubungkan dengan alat perekam. Dalam skripsi ini digunakan komputer sebagai alat perekam sinyal hasil keluaran.

4.4.3.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian dari keluaran filter FIR dengan masukan sinyal suara asli dengan kata “telekomunikasi” adalah sebagai berikut



Gambar 4.29 Sinyal Suara Hasil Filter FIR

Sumber: Pengujian

4.4.3.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian filter FIR maka dapat dilihat perbedaan antara gambar 4.27a dan gambar 4.29, yaitu pada amplitudo yang cenderung lebih stabil pada sinyal keluaran hasil filter FIR. Amplitudo pada sinyal hasil keluaran filter FIR pada saat waktu 0-0.001 cenderung mendekati 0 sedangkan sebelum melalui filter FIR amplitudonya cenderung berosilasi. Untuk frekuensi nilainya tidak banyak berubah hanya saja magnitude sinyal sebelum melalui filter cenderung lebih tinggi. Frekuensi ini telah sesuai dengan filter yang digunakan yaitu filter FIR-LPF.

4.4.3.6 Kesimpulan dari Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa perancangan filter FIR pada TMS320C6713 memiliki perbedaan dengan sinyal asli sebelum filter. Hal ini membuktikan bahwa filter FIR dapat bekerja.

4.4.4 Pengujian Sinyal $e(n)$ pada TMS320C6713

Pengujian sinyal $e(n)$ merupakan prosedur pengujian untuk mengkaji keluaran dari perancangan perhitungan sinyal $e(n)$ dimana sinyal ini didapatkan dari selisih sinyal suara asli dengan sinyal output filter FIR.

4.4.4.1 Tujuan

Tujuan pengujian sinyal $e(n)$ adalah untuk mengetahui sinyal keluaran selisih sinyal suara asli dan sinyal suara asli hasil filter FIR.

4.4.4.2 Peralatan Pengujian

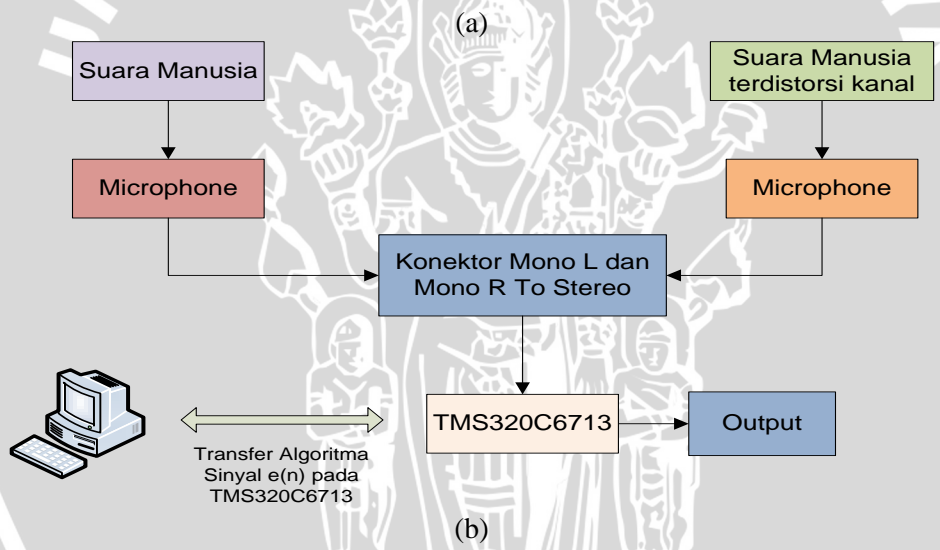
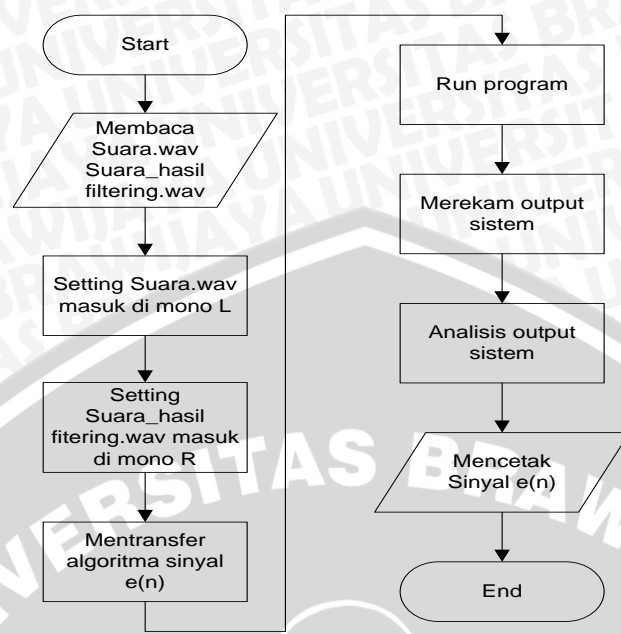
Peralatan yang digunakan dalam pengujian sinyal $e(n)$ antara lain :

1. TMS320C6713
2. Komputer
3. *Microphone*
4. *Software CCS 3.1*
5. *Software Cool Edit Pro 2*

4.4.4.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian sinyal $e(n)$ terdiri atas beberapa tahapan. Proses pengujian dengan membaca sinyal masukan beberapa sumber suara. Kemudian dari sumber suara asli referensi akan diselisihkan dengan sinyal suara terdistorsi kanal dengan menggunakan algoritma sinyal $e(n)$. Algoritma ini akan menghasilkan sinyal $e(n)$ dan sekaligus sinyal *error* sistem dari perancangan filter equalisasi sinyal secara adaptif yang dirancang. Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut:

1. Membaca sinyal masukan berupa suara.wav dan suara_hasilfiltering.wav.
2. Setting suara.wav masuk pada kanal mono L
3. Setting suara_hasilfiltering.wav masuk pada kanal mono R
4. Mentransfer algoritma sinyal $e(n)$
5. *Run* program
6. Merekam keluaran yang terjadi
7. Melakukan analisis keluaran hasil pengujian.

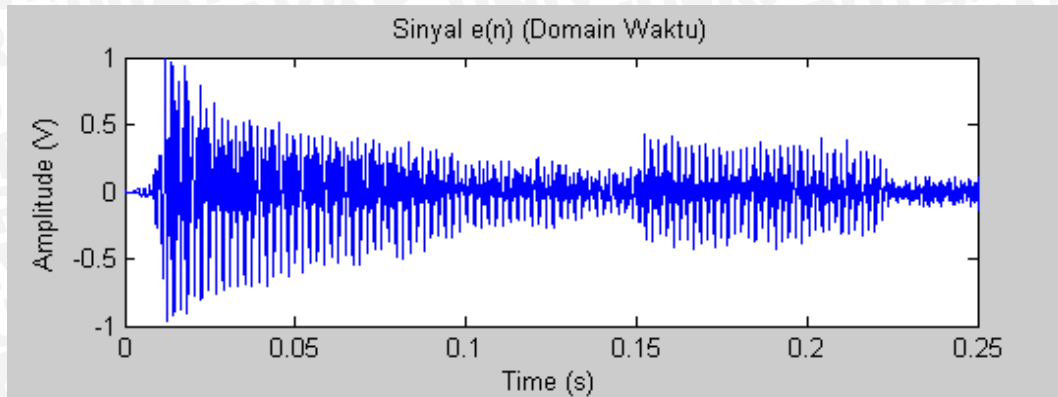


Gambar 4.30 Pengujian Sinyal $e(n)$ (a) Blok Diagram (b) Konfigurasi Pengujian
Sumber : Pengujian

Konfigurasi pengujian sinyal $e(n)$ pada TMS320C6713 dibuat sesuai dengan diagram alir pada gambar 4.30a. Sumber suara yang dipakai sesuai dengan perancangan yang mengucapkan kata telekomunikasi. Suara hasil filtering merupakan suara asli terdistorsi yang kemudian difilter dengan filter FIR. Keluaran dari TMS320C6713 pada *line output* dihubungkan dengan alat perekam. Dala skripsi digunakan komputer sebagai alat perekam sinyal hasil keluaran.

4.4.4.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian didapatkan sinyal $e(n)$ hasil perekaman dari pengujian untuk masukan sumber suara asli.



Gambar 4.31 Hasil Pengujian Sinyal $e(n)$

Sumber: Pengujian

4.4.4.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan gambar 4.31 dalam domain waktu memiliki perbedaan dengan gambar 4.29. Perbedaan ini dapat dilihat secara jelas pada tingkat amplitudo sinyal pada domain waktu.

4.4.4.6 Kesimpulan dari Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa perancangan selisih sinyal untuk mendapatkan sinyal $e(n)$ dapat berkerja dengan baik pada TMS320C6713.

4.4.5 Pengujian Tombol Pilihan Output pada TMS320C6713

Pengujian tombol pilihan output merupakan serangkaian prosedur pengujian dari perancangan tombol output pada TMS320C6713.

4.4.5.1 Tujuan

Tujuan pengujian tombol pilihan output adalah untuk mengetahui sinyal keluaran dari masing-masing pilihan dan model tombol pada CCS 3.1.

4.4.5.2 Peralatan Pengujian

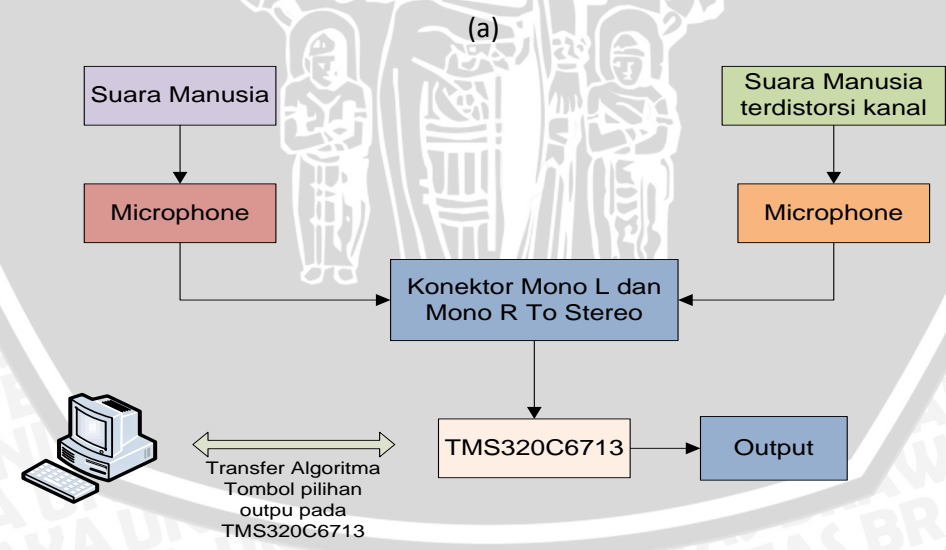
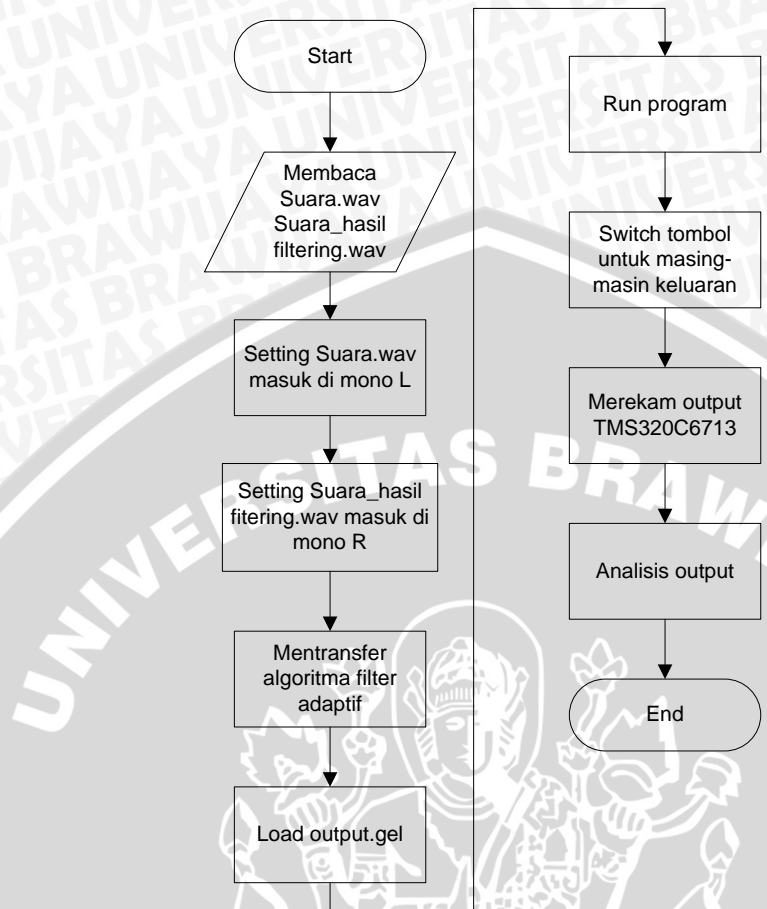
Peralatan yang digunakan dalam pengujian tombol pilihan output ini antara lain :

1. TMS320C6713
2. Komputer
3. *Microphone*
4. *Software CCS 3.1*
5. *Software Cool Edit Pro 2*

4.4.5.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian tombol pilihan output merupakan beberapa rangkaian tahapan dalam menguji algoritma yang dibuat khususnya untuk mengetahui *slide* tombol output yang dibuat. Prosedur pengujian tombol pilihan output terdiri atas beberapa tahapan antara lain sebagai berikut :

1. Membaca sinyal masukan berupa suara.wav dan suara_hasilfiltering.wav.
2. Setting suara.wav masuk pada kanal mono L
3. Setting suara_hasilfiltering.wav masuk pada kanal mono R
4. Mentransfer algoritma filter adaptif
5. *Load file output GEL*
6. *Run program*
7. *Switch* tombol untuk masing-masing keluaran
8. Merekam keluaran yang terjadi
9. Melakukan analisis keluaran hasil pengujian.



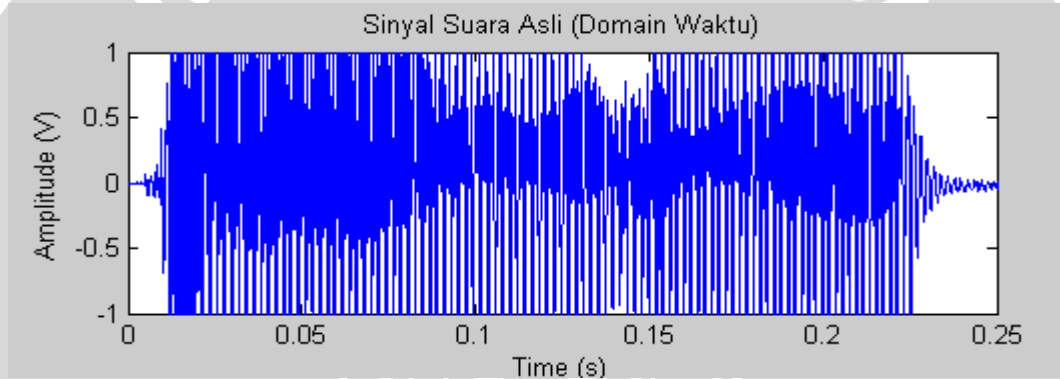
Gambar 4.32 Pengujian Tombol Pilihan Output (a) Blok Diagram (b) Konfigurasi Pengujian

Sumber : Pengujian

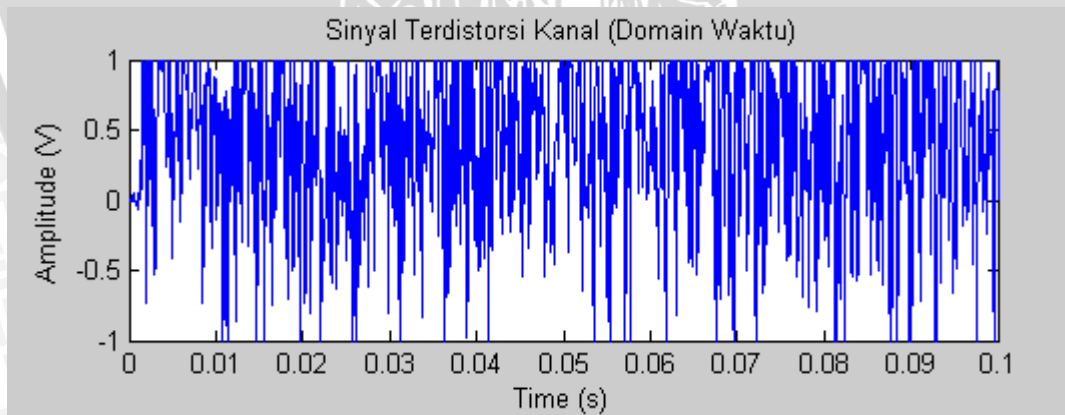
Konfigurasi pengujian tombol pilihan output pada TMS320C6713 merupakan serangkaian beberapa blok digaram. Konfigurasi pada pengujian ini dibuat dengan prosedur pengujian pada gambar 4.32a. Sumber suara yang dipakai sesuai dengan perancangan yang mengucap kata telekomunikasi. Sinyal hasil filtering merupakan sinyal hasil keluaran filter FIR. Keluaran dari TMS320C6713 pada line output dihubungkan dengan alat perekam. Dalam skripsi ini digunakan komputer sebagai alat perekam sinyal hasil keluaran.

4.4.5.4 Hasil Pengujian

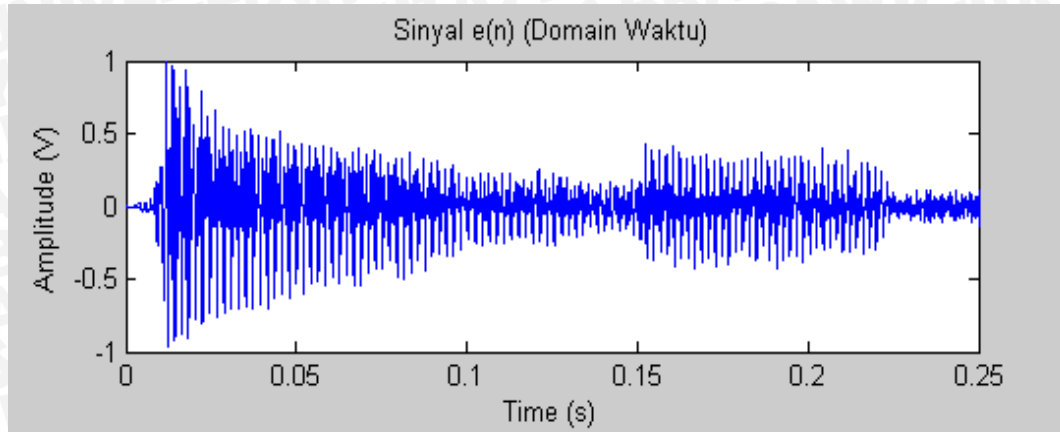
Hasil pengujian didapatkan empat buah sinyal hasil perekaman dari empat pengujian untuk masukan sumber suara, sumber suara terdistorsi kanal, sinyal $e(n)$ dan sinyal hasil equalisasi adaptif.



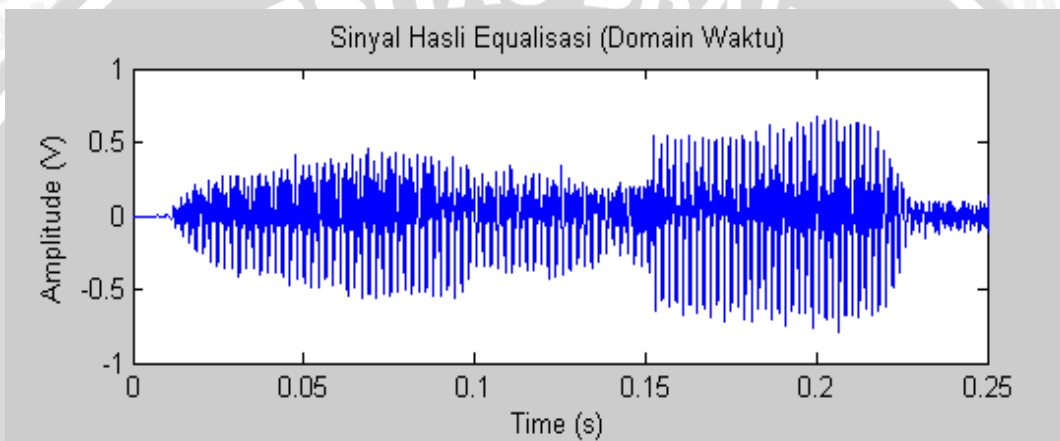
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.33 Hasil Pengujian Tombol Pilihan Output (a) Sinyal suara asli (b) Sinyal terdistorsi kanal (c) Sinyal *error* (d) Sinyal hasil equalisasi

Sumber: Pengujian

4.4.5.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian dari perancangan tombol output sistem filter equalisasi adaptif dengan memanfaatkan *file* GEL, didapatkan empat buah sinyal dengan masing-masing sinyal berdasarkan *switch* dari output sistem yang dibuat. Pada gambar 4.33a merupakan sinyal sumber suara asli yang belum terdistorsi kanal. Sinyal ini sama dengan sinyal asli yang direkam pada subbab sebelumnya. Pada gambar 4.33b merupakan sinyal terdistorsi kanal dimana kondisi *switch* bernilai 2. Sinyal ini sama dengan terdistorsi kanal pada subbab sebelumnya. Sinyal $e(n)$ hasil pengujian ditunjukkan oleh gambar 4.33c. Sinyal ini didapatkan dengan men-*switch* tombol ke-3, sinyal ini sama dengan sinyal $e(n)$

pada subbab sebelumnya. Pada gambar 4.33d merupakan sinyal hasil equalisasi yang merupakan hasil output sistem.

4.4.5.6 Kesimpulan dari Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa pengujian dapat disimpulkan bahwa tombol output sistem yang dirancang dapat bekerja sesuai dengan perancangan dan dapat digunakan pada sistem.

4.4.6 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian Sistem secara keseluruhan merupakan serangkaian prosedur pengujian pada perancangan aplikasi yang dibuat.

4.4.6.1 Tujuan

Pengujian sistem secara keseluruhan bertujuan untuk mengetahui apakah sistem bekerja sesuai dengan perancangan.

4.4.6.2 Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan dalam pengujian sistem keseluruhan ini antara lain :

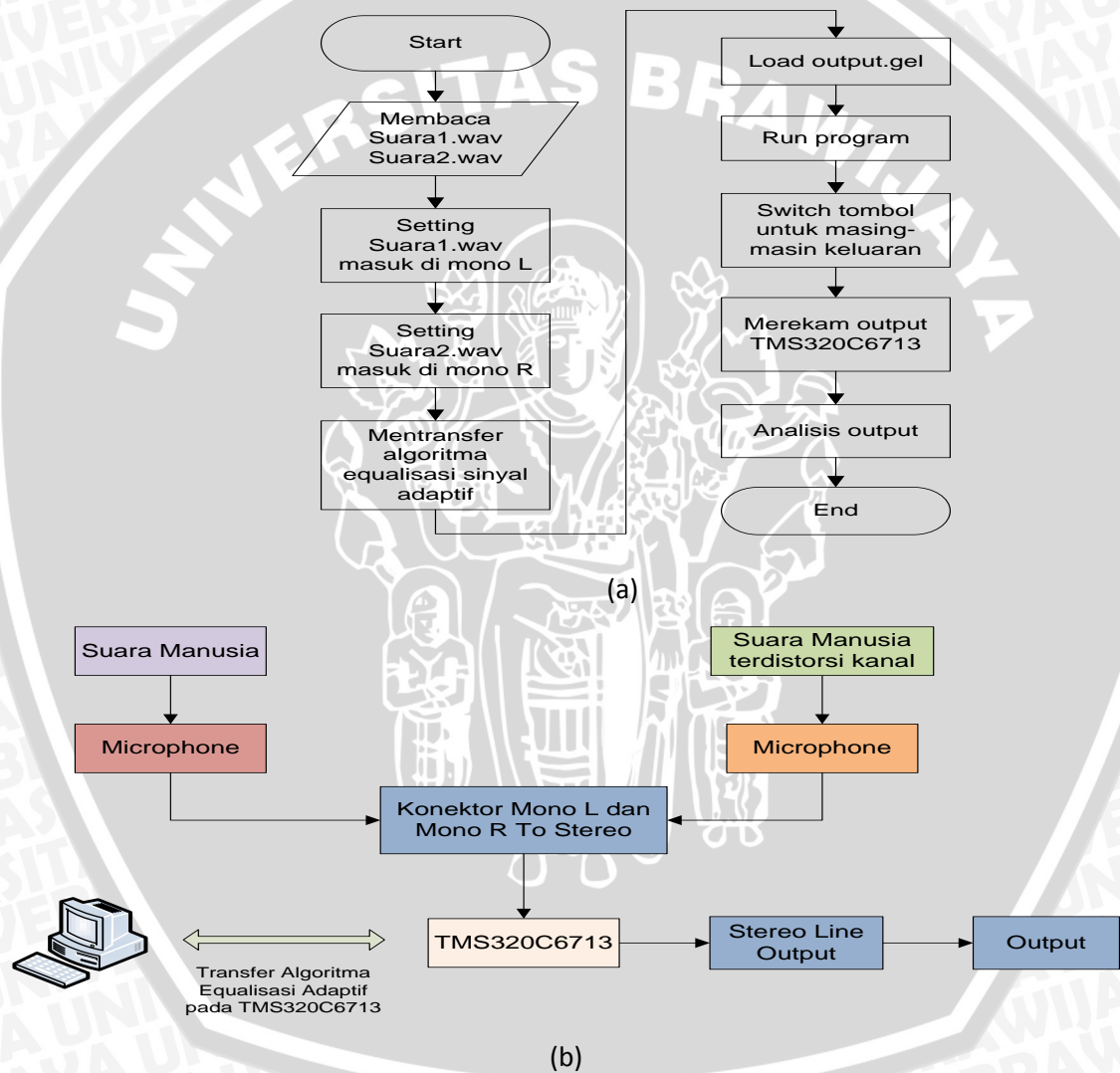
1. TMS320C6713
2. Komputer
3. *Microphone*
4. *Software CCS 3.1*
5. *Software Cool Edit Pro 2*

4.4.6.3 Prosedur Pengujian

Pengujian sistem secara keseluruhan merupakan serangkaian tahapan dalam menguji sistem secara keseluruhan. Tahapan-tahapan yang dimaksud dalam hal ini adalah sebagai berikut:

1. Membaca suara1.wav sebagai sinyal keluaran dari kanal komunikasi dan suara2.wav merupakan sinyal suara asli.
2. *Setting* sinyal suara1.wav masuk pada kanal mono L pada TMS320C6713

3. *Setting* sinyal suara2.wav masuk pada kanal mono R pada TMS320C6713
4. Mentransfer algoritma equalisasi sinyal secara adaptif
5. *Load file output GEL*
6. *Run program*
7. *Switch tombol* untuk masing-masing keluaran
8. Merekam keluaran TMS320C6713
9. Melakukan analisis keluaran tersebut.



Gambar 4.34 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan (a) Blok Diagram, (b) Konfigurasi Pengujian
Sumber : Pengujian

Pengujian sistem dilakukan dengan mengkonfigurasi semua peralatan sistem sesuai dengan Gambar 4.34a. Pengujian dilakukan dengan meletakkan sumber suara ucapan

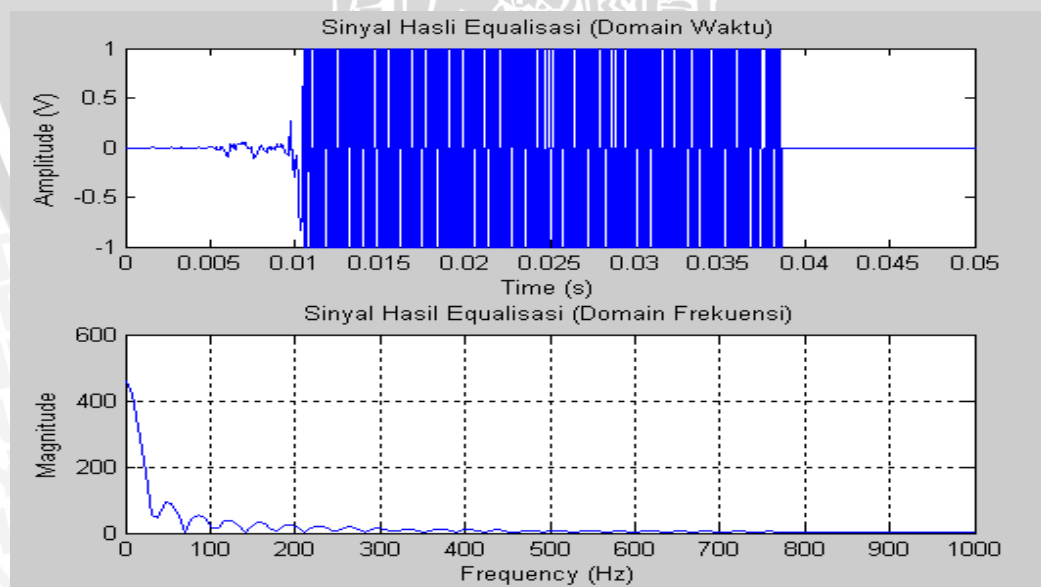
telekomunikasi pada kanal suara asli. Sedangkan sumber suara terdistorsi kanal diletakkan pada kanal suara terdistorsi. Proses *download* algoritma filter equalisasi sinyal secara adaptif FIR LMS dilakukan dengan menggunakan komputer. Hasil keluaran output sistem dibuat bervariasi sesuai dengan tombol pilihan. Hasil keluaran TMS320C613 dihubungkan dengan komputer lain untuk dilakukan proses perekaman. Perekaman dilakukan dengan menggunakan *software Cool Edit Pro 2*. Frekuensi *sampling* menggunakan frekuensi 16.000 Hz dan disimpan dalam bentuk wav.

4.4.6.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian pada subbab ini disajikan hasil dari beberapa penentuan nilai *step size*. Hasil pengujian ini dilakukan dengan mencari hasil yang terbaik dari nilai *step size* yang ditentukan. Hasil pengujian berikut ini merupakan hasil pengujian untuk hasil equalisasi sinyal yang dirancang.

a. Faktor Step Size 0.053

Pada Gambar 4.35 berikut ini merupakan hasil output sistem untuk nilai *step size* sebesar 0.053. Jika diamati maka akan terdapat perbedaan dengan sinyal terdistorsi kanal maupun dengan sinyal asli sebelum dikirimkan.

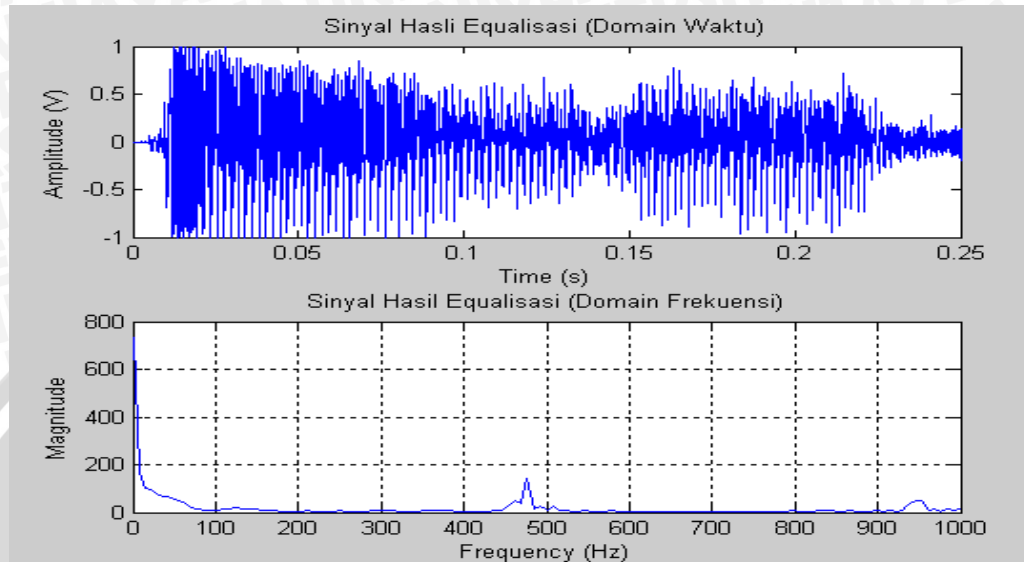


Gambar 4.35 Hasil Pengujian Sistem untuk Stepsize 0.053

Sumber : Hasil Pengujian

b. Faktor Step Size 0.0002

Pada Gambar 4.36 berikut ini merupakan hasil *output* sistem untuk nilai *step size* sebesar 0.0002.

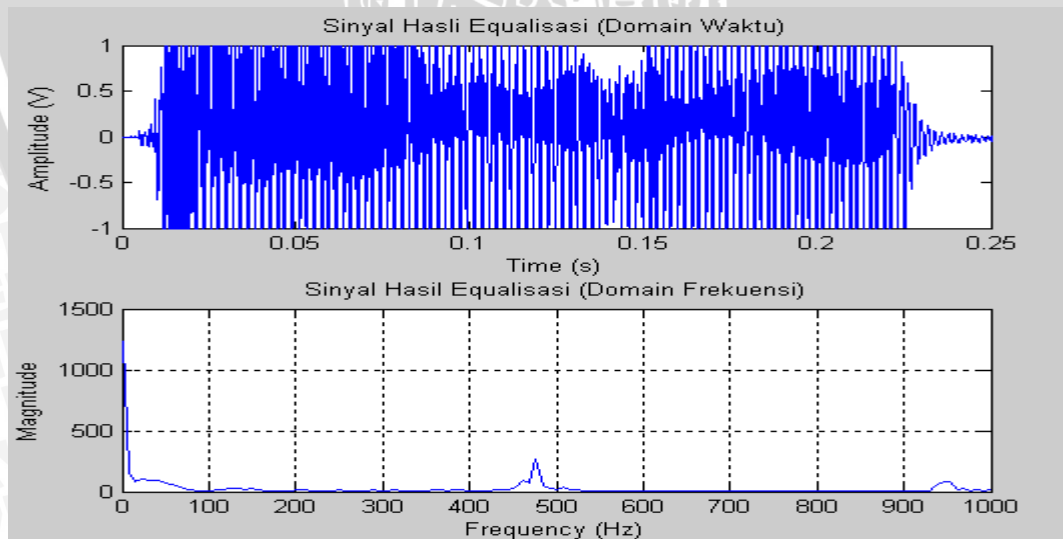


Gambar 4.36 Hasil Pengujian Sistem untuk *Step size* 0.0002

Sumber : Hasil Pengujian

c. Faktor Step Size 0.00000009

Pada Gambar 4.37 berikut ini merupakan hasil *output* sistem untuk nilai *step size* sebesar 0.00000009. Jika diamati maka akan menyerupai dengan sinyal asli sebelum dikirimkan.



Gambar 4.37 Hasil Pengujian Sistem untuk *Step size* 0.00000009

Sumber : Hasil Pengujian

4.4.6.5 Analisis Hasil Pengujian

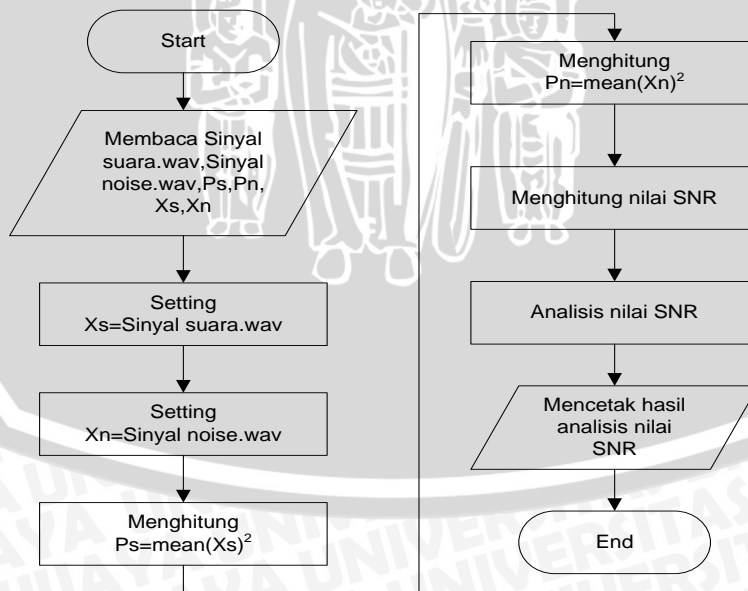
Analisis sistem secara keseluruhan bertujuan untuk mengetahui performansi hasil sistem secara keseluruhan. Pada skripsi ini, analisis sistem yang dijelaskan meliputi :

1. Analisis SNR Sinyal Asli
2. Analisis SNR Sinyal Terdistorsi Kanal
3. Analisis SNR Sinyal *Output* Sistem
4. Analisis BER Sinyal Terdistorsi Kanal
5. Analisis BER Sinyal *Output* Sistem
6. Analisis Besar Penghapusan ISI (*Inter Symbol Interference*) Output Sistem terhadap Sinyal Terdistorsi Kanal.

Berdasarkan hasil analisis pada bagian ini digunakan sebagian sebagai acuan untuk mengambil kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

4.4.6.5.1 Analisis SNR Sinyal Asli

SNR sinyal asli adalah perbandingan sinyal suara asli terhadap sinyal *noise* referensi. Sinyal suara asli yang digunakan adalah sinyal suara sebelum tercemar dengan *noise*. Sinyal *noise* referensi adalah sinyal *noise* dari kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) yang telah dirancang memiliki daya *noise* yaitu 2 Watt.



Gambar 4.38 Diagram Alir Perhitungan SNR Sinyal Asli

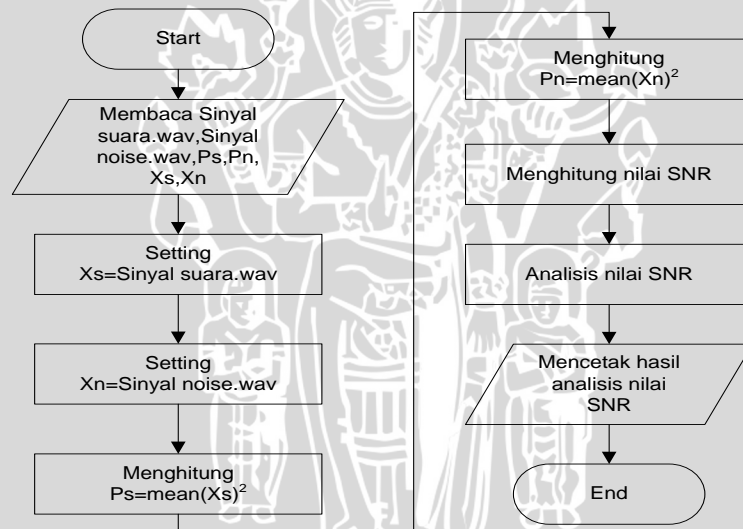
Sumber : Hasil Pengujian

Sehingga SNR sinyal asli dapat diperoleh dengan perhitungan dibawah ini:

$$\begin{aligned}
 SNR &= 10\log\left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}}\right) \\
 &= 10\log\left(\frac{0.0531}{2}\right) \\
 &= 15.7594dB
 \end{aligned}$$

4.4.6.5.2 Analisis SNR Sinyal Terdistorsi Kanal

SNR sinyal terdistorsi kanal adalah perbandingan sinyal terdistorsi kanal terhadap sinyal *noise* referensi. Sinyal terdistorsi kanal yang digunakan adalah sinyal yang telah melewati kanal *time varying* dan kanal AWGN. Sinyal *noise* referensi adalah sinyal *noise* dari kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) yang telah dirancang memiliki daya *noise* yaitu 2 Watt.



Gambar 4.39 Diagram Alir Perhitungan SNR Sinyal Terdistorsi

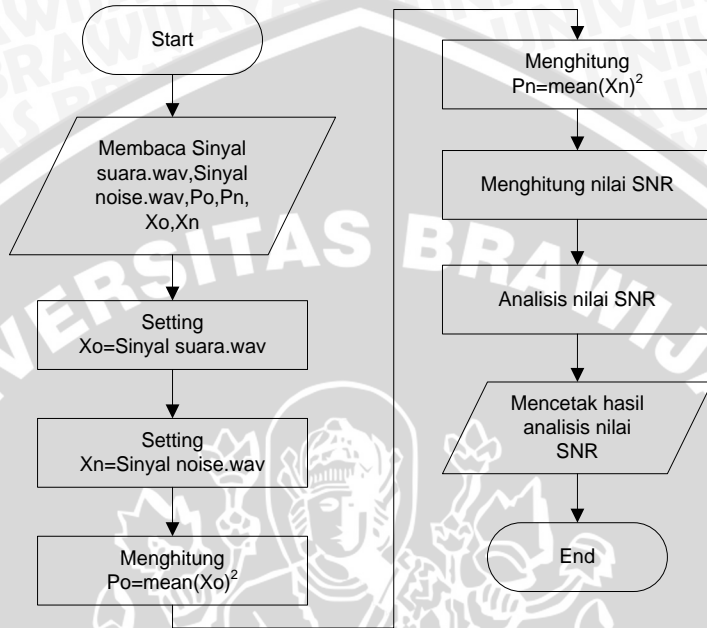
Sumber : Hasil Pengujian

Sehingga SNR sinyal terdistorsi kanal dapat diperoleh dengan perhitungan dibawah ini:

$$\begin{aligned}
 SNR &= 10\log\left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}}\right) \\
 &= 10\log\left(\frac{0.8551}{2}\right) \\
 &= 3.6901dB
 \end{aligned}$$

4.4.6.5.3 Analisis SNR Sinyal Output Sistem

SNR sinyal output sistem adalah perbandingan sinyal output filter equalisasi sinyal adaptif terhadap *noise* AWGN. Pada pembahasan skripsi ini data yang diambil adalah data primer dari hasil pengujian filter secara keseluruhan.



Gambar 4.40 Blok Diagram Perhitungan SNR Keluaran Filter Equalisasi Adaptif

Sumber: Pengujian

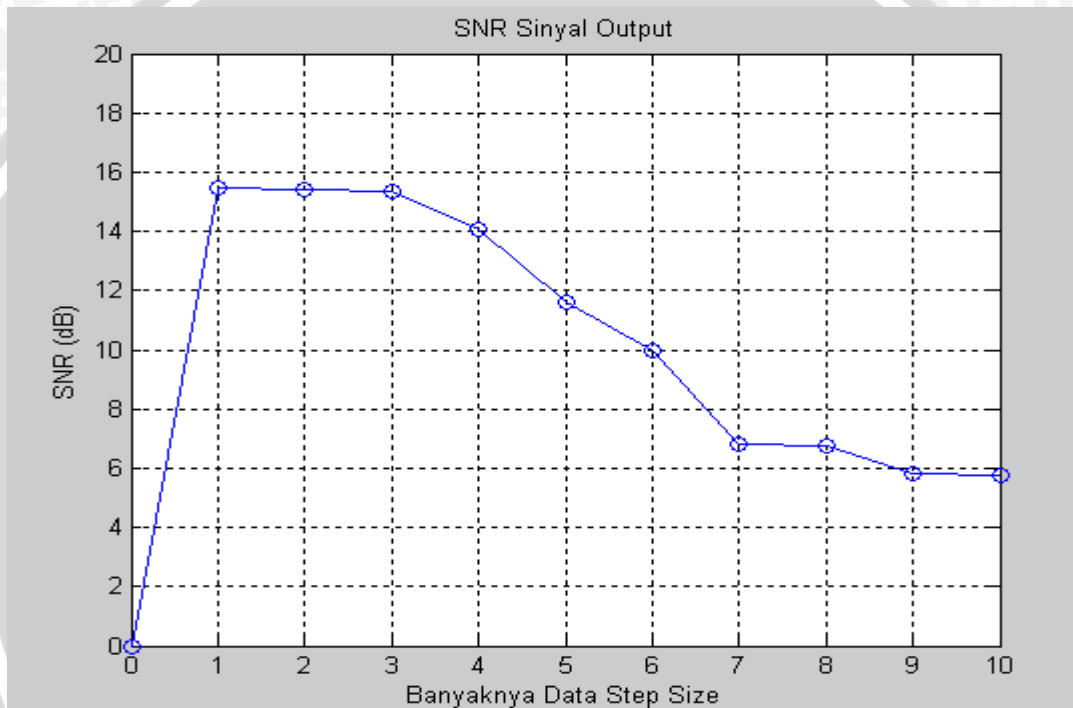
Tabel 4.8 SNR Sinyal Output Sistem

| No | Faktor <i>Step Size</i> | Nilai SNR Output Sistem (dB) |
|----|-------------------------|------------------------------|
| 1 | 0.053 | 5.7671 |
| 2 | 0.02 | 5.8243 |
| 3 | 0.005 | 6.7349 |
| 4 | 0.0009 | 6.8155 |
| 5 | 0.0002 | 9.9974 |
| 6 | 0.00009 | 11.6313 |
| 7 | 0.00001 | 14.0626 |
| 8 | 0.000009 | 15.3286 |
| 9 | 0.00000053 | 15.3933 |
| 10 | 0.00000009 | 15.4956 |

Sumber: Hasil Pengujian

SNR sinyal output sistem untuk *step size* 0.00000009 dapat diperoleh dengan perhitungan dibawah ini:

$$\begin{aligned}
 SNR &= 10\log\left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}}\right) \\
 &= 10\log\left(\frac{0.056}{2}\right) \\
 &= 15.4956dB
 \end{aligned}$$



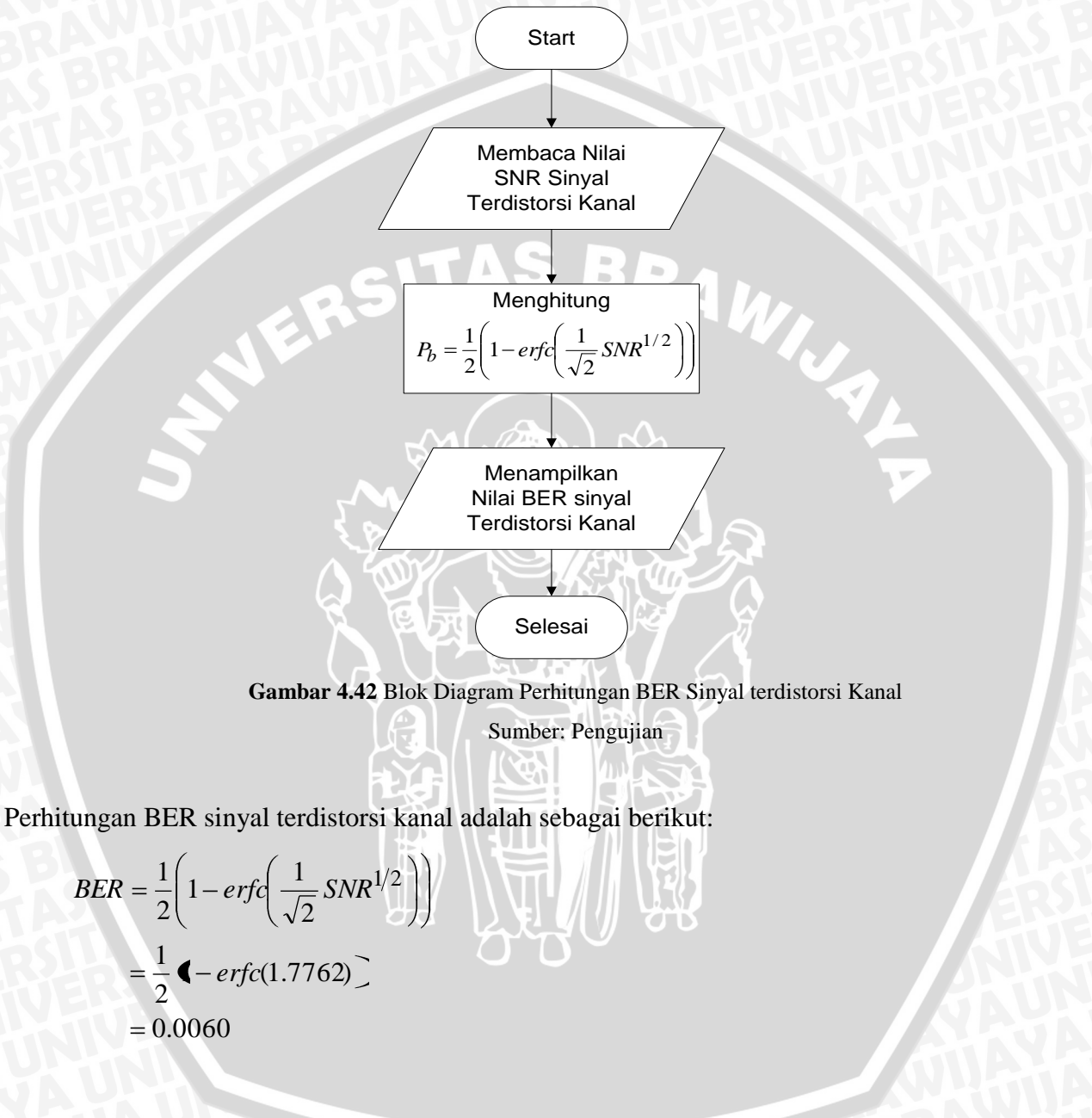
Gambar 4.41 Grafik SNR Output Sistem Fungsi Faktor *Step size*
Sumber : Hasil Pengujian

Berdasarkan data hasil pengujian nilai SNR output sistem terhadap noise AWGN yang bervariasi berdasarkan nilai faktor *step size* dapat ditarik kesimpulan antara lain :

1. Performansi SNR sistem dipengaruhi oleh nilai *step size* dari algoritma LMS yang digunakan. Semakin besar nilai *step size* maka nilai SNR output sistem semakin kecil dan semakin kecil nilai faktor *step size* maka SNR output sistem semakin besar.
2. SNR output sistem terbesar pada saat nilai faktor *step size* sama dengan 0.00000009 yaitu 15.4956 dB.

4.4.6.5.4 Analisis BER Sinyal Terdistorsi Kanal

BER (*Bit Error Rate*) sinyal terdistorsi kanal adalah nilai perbandingan bit yang error terhadap jumlah bit yang diterima yang diukur pada saat sinyal terdistorsi kanal diterima.



Gambar 4.42 Blok Diagram Perhitungan BER Sinyal terdistorsi Kanal

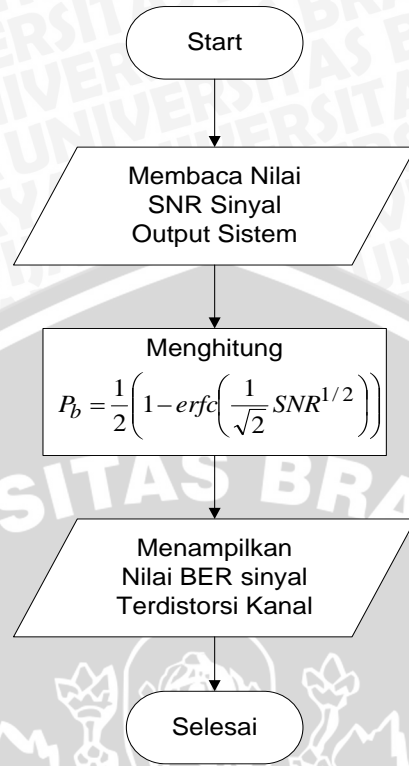
Sumber: Pengujian

Perhitungan BER sinyal terdistorsi kanal adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 BER &= \frac{1}{2} \left(1 - \operatorname{erfc} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} SNR^{1/2} \right) \right) \\
 &= \frac{1}{2} \left(1 - \operatorname{erfc}(1.7762) \right) \\
 &= 0.0060
 \end{aligned}$$

4.4.6.5.5 Analisis BER Sinyal Output Sistem

BER (*Bit Error Rate*) sinyal output sistem adalah nilai perbandingan bit yang error terhadap jumlah bit yang diterima setelah melalui proses equalisasi adaptif.



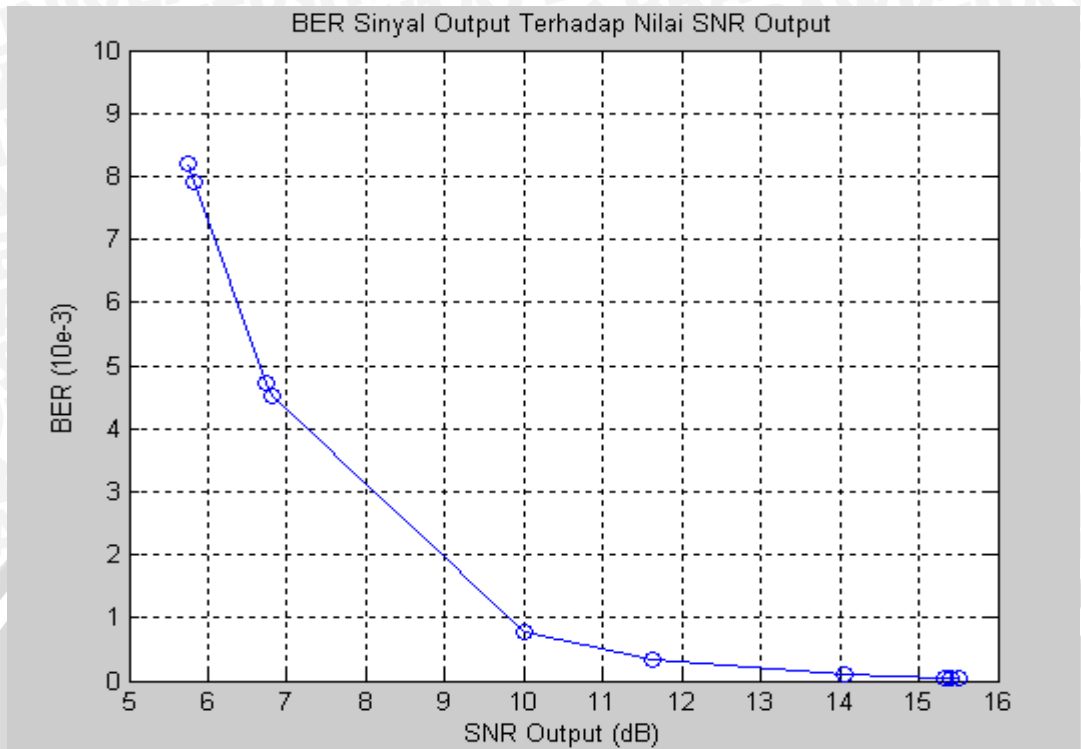
Gambar 4.43 Blok Diagram Perhitungan BER Sinyal Output Sistem

Sumber: Pengujian

Tabel 4.9 BER Sinyal Output Sistem

| No | Faktor Step Size | Nilai SNR Output Sistem (dB) | Nilai BER Output Sistem |
|----|------------------|------------------------------|-------------------------|
| 1 | 0.053 | 5.7671 | 0.0082 |
| 2 | 0.02 | 5.8243 | 0.0079 |
| 3 | 0.005 | 6.7349 | 0.0047 |
| 4 | 0.0009 | 6.8155 | 0.0045 |
| 5 | 0.0002 | 9.9974 | 7.8372×10^{-4} |
| 6 | 0.00009 | 11.6313 | 3.2420×10^{-4} |
| 7 | 0.00001 | 14.0626 | 8.8413×10^{-5} |
| 8 | 0.000009 | 15.3286 | 4.5182×10^{-5} |
| 9 | 0.00000053 | 15.3933 | 4.3644×10^{-5} |
| 10 | 0.00000009 | 15.4956 | 4.1346×10^{-5} |

Sumber: Hasil Pengujian



Gambar 4.44 Grafik BER Output Sistem Terhadap SNR Output
Sumber : Hasil Pengujian

Perhitungan BER sinyal output sistem dengan *step size* sama dengan 0.00000009 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 BER &= \frac{1}{2} \left(1 - \operatorname{erfc} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} SNR^{1/2} \right) \right) \\
 &= \frac{1}{2} \left(1 - \operatorname{erfc}(2.7835) \right) \\
 &= 4.1346 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data hasil pengujian nilai BER output sistem yang bervariasi berdasarkan nilai faktor *step size* dapat ditarik kesimpulan antara lain :

1. Performansi BER sistem dipengaruhi oleh besar nilai *step size* dan juga dipengaruhi oleh SNR sistem. Semakin besar nilai SNR maka didapatkan BER yang kecil.
2. BER output sistem terkecil pada saat nilai faktor *step size* sama dengan 0.00000009 yaitu 4.1346×10^{-5} .

4.4.6.5.6 Analisis Besar Penghapusan ISI (*Inter Symbol Interference*) Output Sistem terhadap Sinyal Terdistorsi Kanal

Besar penghapusan ISI adalah besar kesalahan yang terjadi pada sinyal output sistem terhadap sinyal terdistorsi kanal dengan cara mencari selisih nilai BER sinyal output sistem dengan sinyal terdistorsi kanal. Besar penghapusan ISI dihitung sesuai dengan variasi nilai *stepsize* yang direncanakan.

Tabel 4.10 Besar Penghapusan ISI

| No | Faktor <i>Step Size</i> | Nilai BER Tanpa Equalisasi | Nilai BER Output Sistem |
|----|-------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 1 | 0.053 | 0.060 | 0.0082 |
| 2 | 0.02 | 0.060 | 0.0079 |
| 3 | 0.005 | 0.060 | 0.0047 |
| 4 | 0.0009 | 0.060 | 0.0045 |
| 5 | 0.0002 | 0.060 | 7.8372×10^{-4} |
| 6 | 0.00009 | 0.060 | 3.2420×10^{-4} |
| 7 | 0.00001 | 0.060 | 8.8413×10^{-5} |
| 8 | 0.000009 | 0.060 | 4.5182×10^{-5} |
| 9 | 0.00000053 | 0.060 | 4.3644×10^{-5} |
| 10 | 0.00000009 | 0.060 | 4.1346×10^{-5} |

Sumber: Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa penghapusan ISI terbesar adalah pada saat nilai *step size* sama dengan 0.00000009, pada nilai *step size* ini nilai BER sinyal terdistorsi kanal yang bernilai 0.0060 dapat diminimalkan menjadi 4.1346×10^{-5} . Dengan adanya pengurangan *error* yang terjadi maka system equalisasi adaptif ini dapat bekerja baik sesuai dengan perancangan.

4.4.6.6 Kesimpulan dari Hasil Analisis Sistem Equalisasi Sinyal Secara Adaptif Menggunakan Algoritma LMS

Dari hasil analisis data diatas, kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut:

1. Performansi pada hasil perhitungan SNR sinyal output didapatkan bahwa semakin besar nilai *step size* maka nilai SNR akan semakin kecil, SNR terbesar didapatkan pada saat *step size* sama dengan 0.00000009 yaitu didapatkan SNR sama dengan 15.4956 dB.
2. Performansi pada hasil perhitungan BER sinyal output didapatkan bahwa semakin besar nilai *step size* maka nilai BER akan semakin besar, BER terkecil didapatkan pada saat *step size* sama dengan 0.00000009 yaitu didapatkan BER sama dengan 4.1346×10^{-5} dB. Selain itu nilai BER juga berbanding terbalik dengan nilai SNR sistem.
3. Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa penghapusan ISI terbesar adalah pada saat nilai *step size* sama dengan 0.00000009, pada nilai *step size* ini nilai BER sinyal terdistorsi kanal yang bernilai 0.0060 dapat diminimalkan menjadi 4.1346×10^{-5} . Dengan adanya pengurangan *error* yang terjadi maka sistem equalisasi adaptif ini dapat bekerja baik sesuai dengan perancangan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan hasil pengujian serta analisis penerapan algoritma LMS (*Least Mean Square*) sebagai equalisasi adaptif dengan menggunakan TMS320C6713, dapat disimpulkan bahwa :

1. Blok diagram penerapan algoritma LMS (*Least Mean Square*) sebagai equalisasi adaptif dengan menggunakan TMS320C6713 terdiri dari blok sinyal masukan berupa sinyal suara manusia dan sinyal terdistorsi kanal. Sinyal terdistorsi kanal ini diperoleh dengan melewati sinyal asli pada kanal *time varying* dan kanal AWGN. Blok equalisasi adaptif terdiri dari TMS320C6713, komputer dan *speaker*. TMS320C6713 yang diprogram algoritma LMS (*Least Mean Square*) sebagai equalisasi adaptif digunakan sebagai *interface* untuk memproses sinyal secara digital. Komputer digunakan sebagai pentransfer algoritma ke TMS320C6713 dan *speaker* sebagai pengubah sinyal listrik menjadi getaran suara.
2. Perangkat keras yang terdiri dari *microphone*, TMS320C6713, komputer, kabel dan konektor audio, *soundcard*, *speaker* serta konektor mono L dan mono R *to stereo*, dirancang sesuai dengan fungsi dari metode penerapan algoritma LMS (*Least Mean Square*) sebagai equalisasi adaptif. Pada TMS320C6713 digunakan *line input* dan *line output* sebagai masukan dan keluaran.
3. Perangkat lunak dirancang sesuai dengan algoritma penyusun metode equalisasi adaptif yang terdiri dari filter FIR LPF, *step size*, *update* koefisien dan sinyal $e(n)$ yang kemudian ketiganya digabungkan menjadi metode equalisasi adaptif berdasarkan algoritma LMS secara keseluruhan. Perangkat lunak tersebut dirancang dengan menggunakan *Software Code Composer Studio* dan kemudian diprogram pada TMS320C6713.
4. Performansi dari penerapan algoritma LMS (*Least Mean Square*) sebagai equalisasi sinyal secara adaptif dengan menggunakan TMS320C6713 berdasarkan pengujian sistem keseluruhan adalah SNR paling besar yaitu 15.4956 dB dan nilai BER terkecil yaitu 4.1346×10^{-5} didapatkan pada saat *step size* bernilai 0.00000009. Sedangkan

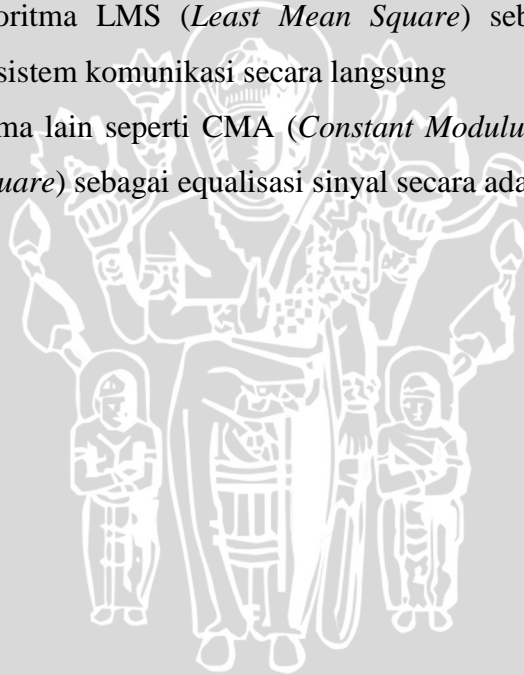
SNR paling kecil yaitu 5.7671dB BER terbesar yaitu 0.0082 didapatkan pada saat *step size* bernilai 0.053. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai *step size* sangat berpengaruh pada sistem equalisasi sinyal secara adaptif ini.

5. Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa penghapusan ISI terbesar adalah pada saat nilai *step size* sama dengan 0.00000009, pada nilai *step size* ini nilai BER sinyal terdistorsi kanal yang bernilai 0.0060 dapat diminimalkan menjadi 4.1346×10^{-5} . Dengan adanya pengurangan *error* yang terjadi maka sistem equalisasi adaptif ini dapat bekerja baik sesuai dengan perancangan.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk pengembangan berikutnya adalah :

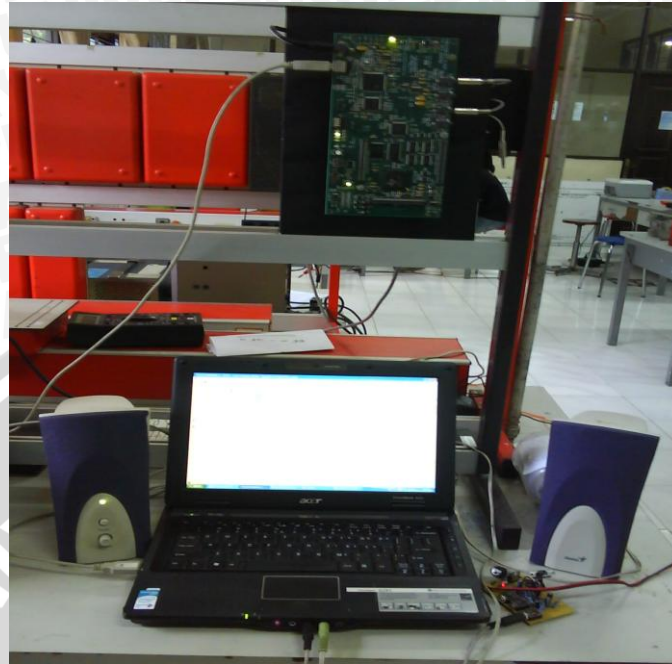
1. Pengaplikasian algoritma LMS (*Least Mean Square*) sebagai equalisasi sinyal secara adaptif pada sistem komunikasi secara langsung
2. Penggunaan algoritma lain seperti CMA (*Constant Modulus Algorithm*) atau RLS (*Recursive Least Square*) sebagai equalisasi sinyal secara adaptif.



DAFTAR PUSTAKA

- Chassaing, Rulph.2006. "*Digital Signal Processing And Application With The C6713 And C6416 DSK*". United States:John Wiley&Sons,Inc.
- Freeman, Roger L. 1999. "*Fundamental of Telecommunications*". United States:John Wiley&Sons,Inc.
- Glisic, Savo. 2004. "*Advanced Wireless Communication 4G Technologies*". Chichester: John Willey & Sons Ltd.
- Glover, Ian. 2000. "*Digital Communications*". London: Practice Hall.
- Goldsmith,Andrea. 2005."*Wireless Communications*".Cambridge:Cambridge University Press.
- Hara,Shinsuke. 2003. "*Multicarrier Techniques for 4G Mobile Communications*".London: Artech House.
- Hioki, Warren.1983. "*Telecommunication Third Edition*". Singapore: Mc.Graw Hill Book,Inc.
- Ibnkahla, Mohamed. 2009. "*Adaptive Digital Signal Processing in Wireless Communication*". United States: CRC Press.
- Kehtarnavaz,Nasser.2005."*Real Time Digital Signal Processing Based on The TMS32C6000*". United States: Elseiver,Inc.
- Ludeman, Lonnie C. 1987. "*Fundamental of Digital Signal Processing*", United States:John Wiley&Sons,Inc.
- Proakis, John G., Dimitris G. Manolakis.1995. *Pemrosesan sinyal digital: Prinsip, Algoritma dan Aplikasi*.
- Tanudjaja, Harlianto. 2007. "*Pengolahan Sinyal Digital & Sistem Pemrosesan Sinyal*", Yogyakarta:Penerbit Andi.
- Vaseghi V,Saeed. 2006. "*Advanced Digital Signal Processing And Noise Reduction Third Edition*". England:John Wiley&Sons,Ltd.
- www.ieee802.org/16/tg3/contrib/10.1.1.133.8182.pdf, diakses tanggal 29 Maret 2010
- www.ti.com, diakses tanggal 5 Januari 2010

Lampiran 1. Perangkat Keras Sistem Equalisasi Adaptif



Lampiran 2. Tampilan Code Composer Studio (CCS) 3.1 dengan Program Equalisasi Adaptif Menggunakan Algoritma LMS

```
IC6713 DSK/CPU_1 - C671x - Code Composer Studio - [Equalizer Adaptif LMS.c.cpp]
File Edit View Project Debug GEL Option Profile Tools DSP/BIOS Window Help
Equalizer Adaptif LMS.prj Debug
C6713dsksnit.h
cs1.h
cs1_chip.h
cs1_cihphal.h
cs1_emihal.h
cs1_irq.h
cs1_irqhal.h
cs1_mcbssp.h
cs1_mcbssphal.h
cs1_stdinc.h
cs1_stdinc.hal.h
cs1_timer.h
cs1_timerhal.h
dsk6713.h
DSK6713_AIC23.h
tistatypes.h
Libraries
c6713.lib
dsk6713sl.lib
rts6700.lib
Source
Adaptnoise_ZIN.c
c6713dsksnit.c
Equalizer Adaptif LMS.c.cpp
Vectors_ptr.asm
//Filter Equalisasi Sinyal Adaptif Dengan Algoritma LMS
//Struktur Filter FIR : xL_topi += w[n]*x[n]
//Sinyal_error=output_sistem : sinyal_e(n) = sinyal asli - xL_topi;
//Update Koefisien Menggunakan Algoritma LMS : w[1]+miu*sinyal_e(n)*x[n];
//miu bervariasi berdasarkan pendekatan rumus step size maks : 1/AFx
//sinyal yang dipakai adalah suara manusia dengan kata "telekomunikasi"

//codecs-DSK(TMS320C6713)
#include "DSK6713_AIC23.h"

//sampling
uint32 fs=DSK6713_AIC23_FREQ_48KHZ;
#include <stdio.h>

//panjang elemen filter
#define N 30

//definisi kanal kiri line input
#define LEFT 0

//definisi kanal kanan line output
#define RIGHT 1

//nilai bobot koefisien filter untuk panjang element N
float w[N];

[Linking...] "C:\CCStudio_v3.1\CGtools\bin\cl6x...
<Linking>
Build Complete.
0 Errors, 1 Warnings, 0 Remarks.
GEL StartUp Complete.
```


Lampiran 3. Listing Program Equalisasi Adaptif Menggunakan Algoritma LMS Menggunakan Bahasa C++

```
//Listing Program Equalisasi Adaptif Dengan Algoritma LMS
//Filter Equalisasi Sinyal Adaptif Dengan Algoritma LMS
//Struktur Filter FIR :  $x1\_topi += w[n]*x[n]$ 
//Sinyal_error=output_sistem :  $sinyal\_e(n) = sinyal\ asli - x1\_topi;$ 
//UPdate Koefisien Menggunakan Algoritma LMS :  $w[i] += miu*sinyal\_e(n)*x[n];$ 
//miu bervariasi berdasarkan pendekatan rumus step size maks :  $1/NP_x$ 
//sinyal yang dipakai adalah suara manusia dengan kata "telekomunikasi"
//codec-DSK(TMS320C6713)
#include "DSK6713_AIC23.h"
//sampling
Uin32 fs=DSK6713_AIC23_FREQ_48KHZ;
#include <stdio.h>
//panjang elemen filter
#define N 30
//definisi kanal kiri line input
#define LEFT 0
//definisi kanal kanan line output
#define RIGHT 1
//nilai bobot koefisien filter untuk panjang element N
float w[N];
//input ke buffer untuk panjang elemen N pada filter FIR
float delay[N];
//output TMS320C6713
short output;
//tipe output pilihan jenis keluaran
short jenis_keluaran = 1;
//deskripsi masukan 2kanal line input
volatile union{unsigned int uint; short channel[2];}AIC23_data;
```

```

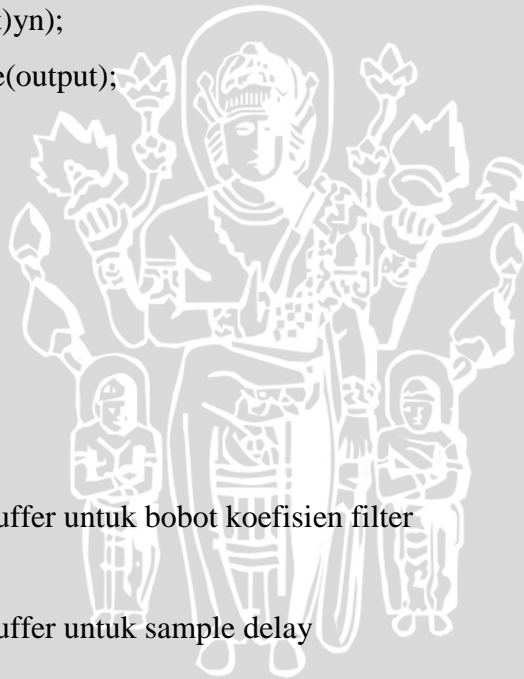
//ISR
interrupt void c_int11()
{
    short i;

    float yn=0, En=0, asli=0, distorsi=0;
    //masukan 32bit dari line input
    AIC23_data.uint = input_sample();
    //definisi sinyal terdistorsi untuk masukan line kiri
    distorsi =(AIC23_data.channel[LEFT]);
    //definisi sinyal asli untuk masukan line kanan
    asli = (AIC23_data.channel[RIGHT]);
    //distorsi sebagai masukan buffer ke-0 untuk FIR
    delay[0] = distorsi;
    //FIR
    for (i = 0; i < N; i++)
        //keluaran filter FIR
        yn += (w[i] * delay[i]);
    //sinyal selisih suara asli dengan sinyal keluaran filter FIR
    En = asli - yn;

    //update koefisien filter dan delay FIR
    for (i = N-1; i >= 0; i--)
    {
        //update koefisien(LMS algoritma)
        w[i] = w[i] + 0.0000000003*En*delay[i];
        //update sample delay
        delay[i] = delay[i-1];
    }
    //bila pilihan menu jenis keluaran dalam posisi 1
    if(jenis_keluaran == 1)
        //jenis_keluaran = sinyal asli
        output=((short)asli);

```

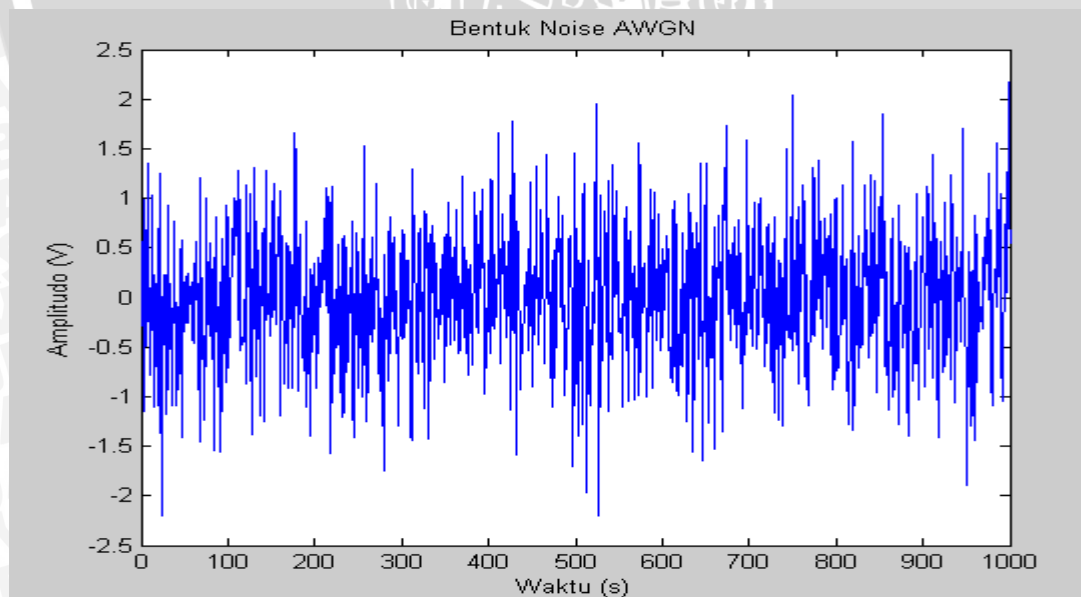
```
//bila pilihan menu jenis keluaran dalam posisi 2
else if(jenis_keluaran==2)
//jenis_keluaran = sinyal terdistorsi
output=((short)distorsi);
//bila pilihan menu keluaran dalam posisi 3
else if(jenis_keluaran==3)
//jenis keluaran = sinyal error
output=((short)En);
//bila pilihan menu keluaran dalam posisi 4
else if(jenis_keluaran==4)
//jenis keluaran=sinyal hasil equalisasi
output=((short)yn);
output_sample(output);
return;
}
void main()
{
short T=0;
for (T = 0; T < 30; T++)
{
//inisialisasi buffer untuk bobot koefisien filter
w[T] = 0;
//inisialisasi buffer untuk sample delay
delay[T] = 0;
}
comm_intr();
while(1);
}
```



Lampiran 4. Listing Program Pentransmisian Data Lewat Kanal AWGN dan *Time Varying*
Menggunakan Matlab 7.5b

```
//Input sinyal suara dengan kata "telekomunikasi"  
x=wavread('asli1.wav');  
//  
//Kanal time varying  
chan=[.986; .845; .237; .123+.31i];  
//  
//Proses pentransmisian data melewati kanal time varying  
f=filter(chan,1,x);  
//  
// Proses pentransmisian data melewati kanal AWGN  
yn=awgn(f,10,2);  
//  
//Proses penyimpanan sinyal keluaran kanal dalam bentuk file.wav  
wavwrite(yn,16000,16,'signal_terdistorsi');
```

Lampiran 5. Bentuk *Noise* AWGN



Lampiran 6. Listing Program Perhitungan SNR dan BER

Menggunakan Matlab 7.5b

```
//Membaca file.wav
a=wavread('signal1');
b=wavread('signal2');
c=wavread('signal3');
d=wavread('signal4');
e=wavread('signal5');
f=wavread('signal6');
g=wavread('signal7');
h=wavread('signal8');
i=wavread('signal9');
j=wavread('signal10');
// Perhitungan Daya Sinyal
Pa=mean(a.^2);
Pb=mean(b.^2);
Pc=mean(c.^2);
Pd=mean(d.^2);
Pe=mean(e.^2);
Pf=mean(f.^2);
Pg=mean(g.^2);
Ph=mean(h.^2);
Pi=mean(i.^2);
Pj=mean(j.^2);
//Perhitungan SNR Signal
SNRa=10*log10(Pa/Pnoise);
SNRb=10*log10(Pb/Pnoise);
SNRc=10*log10(Pc/Pnoise);
SNRd=10*log10(Pd/Pnoise);
SNRe=10*log10(Pe/Pnoise);
SNRf=10*log10(Pf/Pnoise);
SNRg=10*log10(Pg/Pnoise);
SNRh=10*log10(Ph/Pnoise);
SNRi=10*log10(Pi/Pnoise);
SNRj=10*log10(Pj/Pnoise);
//Grafik SNR terhadap Step size
Step size=0:1:10;
SNR=[SNRa,SNRb,SNRc,SNRe,SNRd,SNRg,SNRf,SNRh,SNRi,SNRj];
plot(f,SNR,'-bo');
title('SNR Sinyal Output')
xlabel('Banyaknya Data Step Size')
ylabel('SNR (dB)')
axis([0 10 10 30])
grid on;
//Perhitungan BER sinyal
BER=5000.*(erfc((SNR.^0.5)./2^0.5));
//Grafik BER fungsi SNR
plot(SNR,BER,'-bo');
title('BER Sinyal Output Terhadap Nilai SNR Output')
xlabel('SNR Output (dB)')
ylabel('BER (10e-4)')
axis([0 20 0 90]);grid on;
```