

**PERANCANGAN SISTEM GERAKAN OTOMATIS ROBOT BERDASARKAN  
MUSIK PENGIRING PADA KONTES ROBOT SENI INDONESIA**

**SKRIPSI**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



**BUSTANUL ARIFIN**  
**NIM. 115060300111010**

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2015**

## PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji hanya bagi Allah Subhanahu Wa Taala. Dialah Allah, Tuhan Yang Maha Mulia, Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Dialah Sebaik baik penolong dan Sebaik baik Pelindung. Shalawat dan salam kepada Nabi Muhammand Rasulullah Shallallahu Alaihi Wa Salam, Sang pembawa kabar gembira dan sebaik suri tauladan bagi yang mengharap Rahmat dan Hidayah-Nya

Sungguh hanya melalui Pertolongan dan Perlindungan Allah SWT semata sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Dengan seizin Allah SWT, dikesempatan yang baik ini saya menghaturkan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar besarnya atas bantuan sehingga terselesainya skripsi ini kepada:

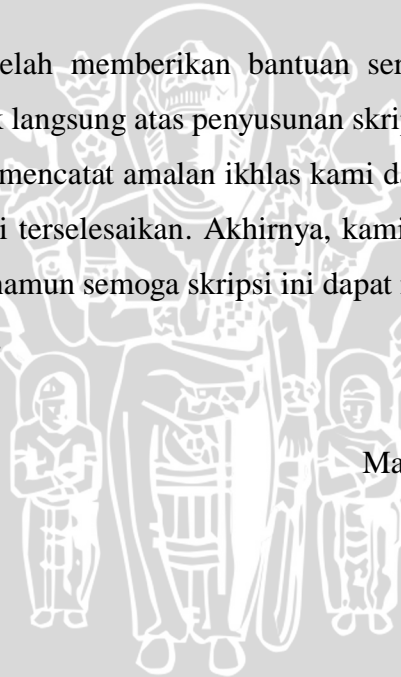
- Keluarga tercinta, kedua orang tua yang memberikan kasih sayang dan doanya yang tiada akhir. Serta adik-adikku tercinta yang selalu memberikan semangat dan motivasi,
- Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Ali Mustofa, ST., MT. selaku Ketua Prodi Strata Satu Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Dwi Fadillah K, ST., MT. selaku dosen Penasehat Akademik,
- Ibu Ir. Nurussa'adah, MT. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Elektronika Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Ir. Nanang Sulistiyanto, MT. sebagai Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, pengarahan, saran, dan kritik yang telah diberikan,
- Bapak Akhmad Zainuri, ST., MT. sebagai Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, pencerahan, bantuan saran, dan kritik yang juga telah diberikan,
- Seluruh dosen pengajar dan Staff Recording Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Teman – teman Inverter angkatan 2011,
- Rekan seperjuangan dalam skripsi, Agung, Nurdin, Swaraka, Rizal, Naufal, April, Bayu RT, Ocir, Jenglot, Tian, Tegar, Liza, Emon, Ainun, Jaka, Desta, Mirza, Guntur dan Irham terima kasih atas segala bantuan yang telah diberikan,

- Rekan-rekan penerus Tim Robot KRSI & KRSBI Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Ronny, Firman, Septian, Anggia, Surya, Yuda, Itsna, Ulya, Aceng, Hemy, Andy, Chandra dan Shindut, terima kasih atas kerja sama, niat, semangat, pengorbanan serta pengalaman berharga selama perjalanan tim tahun ini, dan juga segala bantuan yang telah diberikan,
- Seluruh Keluarga Besar Tim Robot Teknik Elektro Universitas Brawijaya atas segala bantuan alat, bahan, dan masukan-masukan yang telah diberikan,
- Seluruh Keluarga Besar Laboratorium Elektronika dan Laboratorium Mekatronika Robotika Teknik Elektro Universitas Brawijaya atas kerjasamanya dan pengalamannya selama masa jabatan asisten laboratorium,
- Rekan-rekan PSGII (Pasukan Sumbersari Gang II) atas bantuan dan kerjasamanya selama dikontrakan, terutama atas kebaikannya mengambil jermuran ketika mau hujan,
- Seluruh pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Sekiranya Allah SWT mencatat amalan ikhlas kami dan semua pihak yang turut membantu sehingga skripsi ini terselesaikan. Akhirnya, kami menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna namun semoga skripsi ini dapat memberikan mamfaat bagi kita semua. Allahumma Amin.

Malang, Juni 2015

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>viii</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>ix</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan .....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Kontes Robot Seni Indonesia (KRSI) .....	4
2.2 Mikrofon .....	6
2.3 Penapis ( <i>Filter</i> ).....	7
2.4 <i>Analog to Digital Converter</i> (ADC) .....	11
2.5 Mikrokontroler STM32F100RBT6B .....	13
2.5.1 ADC Mikrokontroler .....	14
2.5.2 <i>General Purpose Input/Output</i> (GPIO) .....	15
2.5.3 <i>Direct Memory Access</i> (DMA) .....	15
2.6 USB to TTL.....	15
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>
3.1 Penentuan Spesifikasi Alat.....	17
3.2 Perancangan dan Pembuatan Alat.....	17
3.2.1 Perancangan Sistem .....	17
3.2.2 Perancangan Desain Ritme Gerakan Tari .....	18
3.2.3 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> ).....	18
3.2.4 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ) .....	18
3.3 Pengujian Alat.....	18
3.3.1 Pengujian dan Analisis Sub Sistem .....	18
3.3.2 Pengujian Keseluruhan Sistem .....	19
<b>BAB 4 PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT .....</b>	<b>20</b>
4.1 Perancangan Sistem .....	20



4.2	Pengambilan Data Musik dan Perancangan Desain Ritme Gerakan Tari	20
4.3	Perancangan <i>Hardware</i> .....	22
4.3.1	Perancangan Rangkaian Sensor Suara .....	23
4.3.2	Perancangan Rangkaian <i>Filter</i> .....	24
4.3.3	Perancangan Antarmuka Mikrokontroler dengan perangkat lain ....	27
4.3.4	Perancangan USB to TTL.....	28
4.4	Perancangan Perangkat Lunak .....	28
<b>BAB 5</b>	<b>PENGUJIAN DAN ANALISIS .....</b>	<b>31</b>
5.1	Analisis Data Hasil Simulasi Pem- <i>filter</i> -an Musik .....	31
5.2	Pengujian Rangkaian Sensor.....	35
5.3	Pengujian Rangkaian <i>Filter</i> .....	36
5.4	Pengujian USB to TTL.....	40
5.5	Pengujian ADC Mikrokontroler.....	41
5.6	Pengujian Keseluruhan Sistem.....	42
<b>BAB 6</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>46</b>
6.1	Kesimpulan .....	46
6.2	Saran.....	46
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>47</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>48</b>



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Robot penari dalam perlombaan KRSI 2014	5
Gambar 2.2	Contoh Sinyal suara	5
Gambar 2.3	Mikrofon Elektret	7
Gambar 2.4	<i>Lowpass filter 2nd order Sallen-Key topology</i>	8
Gambar 2.5	Diagram blok pengkaskadean <i>highpass filter</i> orde tinggi	9
Gambar 2.6	<i>Bandpass filter 4th order Multiple feedback topology</i>	9
Gambar 2.7	Proses ADC	11
Gambar 2.8	Pencuplikan Sinyal	12
Gambar 2.9	Sinyal Hasil Kuantisasi	12
Gambar 2.10	Sinyal Hasil Pengkodean	13
Gambar 2.11	Konfigurasi <i>Pin</i> STM32F100xx	13
Gambar 2.12	Blok diagram single ADC mikrokontroler ARM	14
Gambar 2.13	Rangkaian USB <i>to</i> TTL CP2102	16
Gambar 4.1	Alur kerja sistem	20
Gambar 4.2	Alur pengambilan data musik	21
Gambar 4.3	Diagram blok <i>hardware</i> sistem secara keseluruhan	22
Gambar 4.4	Rangkaian sensor suara	24
Gambar 4.5	Rangkaian <i>Bandpass filter 4th order Multi Feedback Topology</i>	26
Gambar 4.6	Rangkaian <i>lowpass filter 2nd order Sallen-Key Topology</i>	27
Gambar 4.7	Rangkaian Antarmuka mikrokontroler dengan perangkat lain	28
Gambar 4.8	Skema koneksi USB <i>to</i> TTL	28
Gambar 4.9	Diagram Alir Program Utama	29
Gambar 4.10	Diagram Alir Pilih Ritme	30
Gambar 5.1	Pengambilan data frekuensi suara gambang	31
Gambar 5.2	Perancangan simulasi <i>filter</i> dengan Tina-TI	32
Gambar 5.3	Sinyal musik <i>legong keraton</i> sesudah ditapis pada simulasi	32
Gambar 5.4	Sinyal Suara Musik Gambang pada interval waktu 0 - 40 detik	33
Gambar 5.5	Sinyal Suara Musik Gambang pada interval waktu 40 - 80 detik	33
Gambar 5.6	Sinyal Suara Musik Gambang pada interval waktu 80 - 120 detik	33
Gambar 5.7	Sinyal Suara Musik Gambang pada interval waktu 120 - 160 detik	33

Gambar 5.8 Sinyal Suara Musik Gambang pada interval waktu 160 - 200 detik	34
Gambar 5.9 Sinyal Suara Musik Gambang pada interval waktu 200 - 230 detik	34
Gambar 5.10 Skema Pengujian sensor suara	35
Gambar 5.11 Hasil pengujian sensor suara ketika tidak diberikan suara	35
Gambar 5.12 Hasil pengujian sensor suara ketika diberikan suara	36
Gambar 5.13 Skema Pengujian <i>filter</i>	36
Gambar 5.14 Grafik hasil pengujian <i>bandpass filter</i>	38
Gambar 5.15 Grafik hasil pengujian <i>lowpass filter</i>	40
Gambar 5.16 Skema Pengujian USB to TTL	40
Gambar 5.17 Hasil Pengujian USB to TTL	40
Gambar 5.18 Skema Pengujian ADC	41
Gambar 5.19 Grafik hasil Pengujian ADC	42
Gambar 5.20 Sinyal suara musik gambang dan keluaran sistem (0-40 detik)	43
Gambar 5.21 Sinyal suara musik gambang dan keluaran sistem (40-80 detik)	43
Gambar 5.22 Sinyal suara musik gambang dan keluaran sistem (80-120 detik)	43
Gambar 5.23 Sinyal suara musik gambang dan keluaran sistem (120-160 detik)	44
Gambar 5.24 Sinyal suara musik gambang dan keluaran sistem (160-200 detik)	44
Gambar 5.25 Sinyal suara musik gambang dan keluaran sistem (200-230 detik)	44

## DAFTAR TABEL

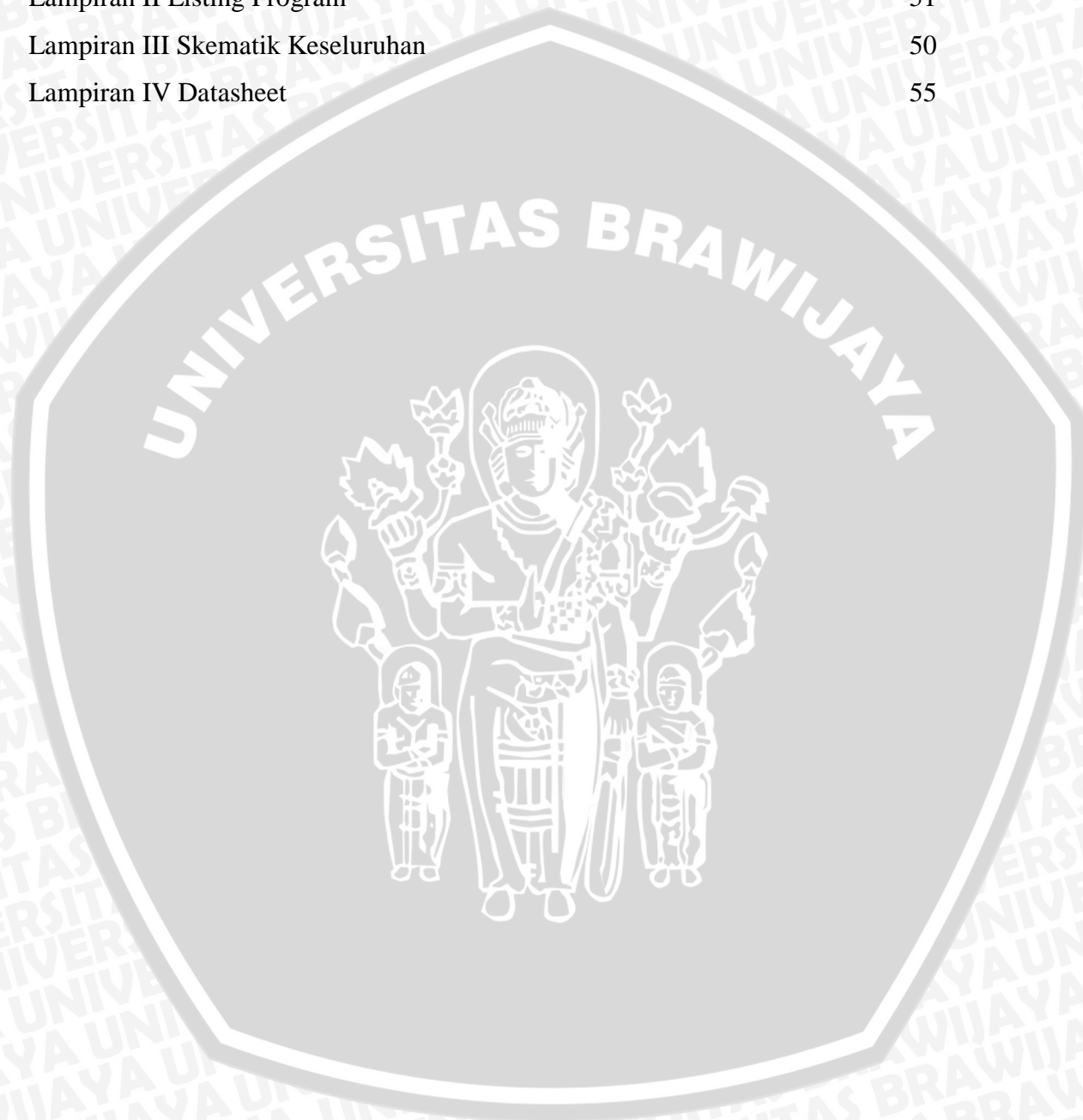
No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Pengali untuk <i>filter</i> orde lebih tinggi	11
Tabel 4.1	Nama jenis gerakan tari	22
Tabel 5.1	Hasil pembagian waktu desain ritme gerakan tari cepat	34
Tabel 5.2	Hasil penentuan waktu jenis gerakan tari	35
Tabel 5.3	Hasil pengujian <i>bandpass filter</i>	37
Tabel 5.4	Hasil pengujian <i>lowpass filter</i>	38
Tabel 5.5	Data Hasil Pengujian ADC	41
Tabel 5.6	Perbandingan desain ritme gerakan cepat dan hasil keluaran sistem	45
Tabel 5.7	Hasil pegujian keadaan ada suara musik dan tidak ada musik	45





## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
	Lampiran I Dokumentasi Alat	49
	Lampiran II Listing Program	51
	Lampiran III Skematik Keseluruhan	50
	Lampiran IV Datasheet	55



## RINGKASAN

**Bustanul Arifin**, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2015, *Perancangan Sistem Gerakan Otomatis Robot Berdasarkan Musik Pengiring pada Kontes Robot Seni Indonesia*, Dosen Pembimbing: Nanang Sulistiyanto dan Akhmad Zainuri.

Pada Kontes Robot Seni Indonesia (KRSI) dengan persaingan yang ketat dan kemampuan robot yang hampir sama, perolehan nilai yang kecilpun sangat diperlukan bagi masing-masing tim untuk bisa menjadi yang terbaik. Untuk saat ini, gerakan tari robot Tim KRSI Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan tim lain pada KRSI masih belum ada yang bisa sinkron dengan alunan musik pengiring. Padahal, hal ini dapat menghasilkan poin yang signifikan (10 dari 100). Oleh karena itu, pada skripsi ini dirancang sistem yang bisa mendeteksi alunan/ritme musik sebagai parameter dari ritme gerakan tari robot.

Untuk bisa mendeteksi alunan/ritme musik, digunakan salah satu suara dari beberapa suara alat musik pada musik pengiring, yaitu suara alat musik jenis gambang. Artinya, jika suara musik gambang terdengar maka robot akan menari dengan ritme gerakan cepat sedangkan jika tidak terdengar suara musik gambang maka robot menari dengan ritme gerakan lambat. Suara gambang dipisah dengan menggunakan *bandpass filter*, dengan cara meloloskan frekuensi musik gambang dan meredam suara musik yang lain. Frekuensi musik gambang diketahui dengan cara menggunakan perangkat lunak *parametric equalizer*, yaitu dengan cara memperkecil *range* frekuensi suara musik pengiring hingga terdengar suara musik gambang saja. *Range* frekuensi yang didapat dijadikan sebagai frekuensi *cut off* dari *bandpass filter* yang dirancang. Keberhasilan *bandpass filter* diketahui dengan membandingkan hasil keluaran *filter* tersebut dengan hasil simulasi.

Berdasarkan hasil pengujian, *bandpass filter* dapat meredam suara musik selain suara musik gambang pada frekuensi antara 4263Hz dan 5249Hz. *Lowpass filter* dapat menentukan keadaan ada atau tidak ada suara musik pada frekuensi dibawah 5760 Hz. Perbedaan waktu antara simulasi dan keluaran sistem maksimum adalah kurang lebih 2 detik, serta dapat membedakan keadaan ada atau tidak ada suara musik, sebagai parameter robot harus diam atau mulai melakukan gerakan tari. Perbedaan tersebut terjadi dikarenakan perbedaan nilai batas ambang (*threshold*) antara simulasi dan perancangan

alat. Nilai *threshold* dapat bekerja dengan baik pada intensitas suara dan jarak antara sumber suara dengan sensor yang tetap. Sehingga untuk penelitian berikutnya disarankan untuk merancang sistem dengan nilai *threshold* yang dinamis atau berubah-ubah terhadap intensitas suara yang ditangkapnya.

Kata Kunci: KRSI, Ritme Musik, suara musik gambang, *Bandpass Filter*, *Lowpass Filter*.



## SUMMARY

**Bustanul Arifin**, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2015, *Automatic Movement System Design Robot Based on Accompaniment Music Art Robot Contest Indonesia*, Academic Supervisor: Nanang Sulistiyanto and Akhmad Zainuri.

In the Indonesian Art Robot Contest (KRSI) with intense competition and the ability of the robot are almost the same, the acquisition of a small value is necessary for each team to be able to be the best. For now, the robot dance moves KRSI Electrical Engineering Team UB and other teams on KRSI still can not sync with the music accompaniment. For now, the robot dance KRSI Electrical Engineering Team UB and other teams on KRSI still can not sync with the music accompaniment. In fact, it can generate significant points (10 of 100). Therefore, in this essay designed a system that can detect the sound / music rhythm as the parameters of the robot dance rhythm.

In the strains / rhythm of Music detector, it used one of the few voices sound on the musical accompaniment of musical instruments, the sound of musical instruments gambang types. If there is the sound of gambang music, robots will be dancing to the rhythm of fast movement. If there is no sound of gambang music the robot dance to the rhythm of slow motion. Gambang sound separated by receipts bandpass filter, by passing frequency gambang music and drown out the other sound of music. Gambang music frequency determined by using parametric equalizer software, that is by far the sound frequency range of the musical accompaniment to the remaining gambang musical sounds only. Obtained frequency range used as the *cut off* frequency of the bandpass filter designed. The success of the bandpass filter is known by comparing the output of the filter with the simulation results.

Based on test results, bandpass filter can drown out the sound of music in addition to the sound of gambang music at frequencies between 4263Hz and 5249Hz. Lowpass filter can determine the circumstances exist or no sound of music at a frequency below 5760 Hz. The time difference between simulation and maximum system output is approximately 2 seconds, and it can distinguish the circumstances there was no sound or music, as the robot parameter must be silent or start doing the dance movements. Such differences occur due to differences in threshold limit value between the simulation and design. The threshold value can work well on fixed sound intensity and distance between

the sound source to the sensor. So that, for subsequent research are encouraged to design a system with a dynamic threshold value or change to the sound intensity arrest.

Keywords: KRSI, Rhythm Music, sound of gambang music, Bandpass Filter, Lowpass Filter.



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Robotika di Indonesia sudah berkembang sangat pesat. Di bidang industri misalnya, sudah banyak digunakan robot-robot sebagai pengganti tugas manusia yang dapat mempermudah pekerjaan. Di bidang pendidikan, teknologi robotika juga sudah mulai diperkenalkan sejak tingkat Sekolah Dasar. Salah satu wadah pengembangan teknologi robotika di bidang pendidikan adalah Kontes Robot yang diadakan oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Dirjen DIKTI), yang terdiri dari 4 kategori, yaitu Kontes Robot ABU Robocon Indonesia (KRAI), Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI), Kontes Robot Sepak Bola Indonesia (KRSBI), dan Kontes Robot Seni Indonesia (KRSI) yang diselenggarakan setiap tahunnya.

Kontes Robot Seni Indonesia (KRSI) merupakan suatu ajang kompetisi perancangan dan pembuatan robot yang disertai dengan unsur-unsur seni dan budaya bangsa yang telah terkenal di bumi pertiwi. Robot tersebut harus dirancang dan dibuat sendiri, dengan menggunakan sensor, aktuator, serta mikroprosesor yang ada dan harus diprogram sesuai dengan tema kontes yang berbeda setiap tahun. Robot yang digunakan dalam KRSI adalah robot berjenis *humanoid*, yaitu robot yang memiliki bentuk dan karakteristik seperti manusia. Robot diharuskan dapat menari sambil berjalan mengikuti alunan musik di arena yang sudah ditentukan.

Performa setiap robot dinilai oleh juri dengan beberapa parameter yang tercantum pada buku pedoman peraturan lomba yang diterbitkan oleh DIKTI setiap tahun. Poin penilaian tertinggi adalah poin penilaian pada gerakan tari di masing-masing zona lapangan sebagai aspek artistik dari robot. Keindahan tari biasanya diukur dari keluwesan, keatraktifan, serta sinkronisasi tari robot dengan irama musik pengiring.

Untuk saat ini, pergerakan robot Tim KRSI hanya bisa mendeteksi ada tidaknya suara sebagai parameter robot akan bergerak atau diam. Bukan bergerak sesuai irama/ritme musik sebagaimana seorang penari atau mengenali salah satu bagian dari musik itu sendiri. Penentuan gerakan robot masih menggunakan metode pendengaran dan pewaktu manual (*feeling*) untuk menentukan gerakan tari yang cepat ataupun gerakan tari yang lambat. Kekurangan metode ini adalah katidaktepatan yang sering terjadi pada saat perlombaan.

Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Albar Rizka Bahar (2013), menunjukkan bahwa sistem yang dibuat menggunakan *lowpass filter* telah dapat membedakan keadaan tanpa musik dan ada musik kemudian memberikan indikasi yang tepat melalui LED indikator dengan menggunakan lagu *uji jiyuu e no shotai*. Sistem tersebut kemudian diaplikasikan untuk membedakan keadaan ada musik dan tanpa musik pada Kontes Robot Seni Indonesia.

Berdasarkan latar belakang yang demikian maka, pada skripsi ini dirancang sistem yang tidak hanya bisa menentukan keadaan ada atau tidak ada suara musik, tetapi juga bisa menentukan keadaan ketika robot harus menari dengan gerakan cepat atau lambat berdasarkan alunan/ritme musik pengiring. Sistem yang sudah ada dikembangkan dengan menambahkan pendeteksi ritme musik pengiring berupa *bandpass filter*. Dengan menggunakan sistem ini, diharapkan bisa mendapatkan sinkronisasi gerakan tari robot yang optimal.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Pada rumusan masalah ini terdapat pertanyaan-pertanyaan yang ingin dicari jawabannya pada skripsi ini. Pada rumusan masalah ini juga terdapat pernyataan-pernyataan mengenai permasalahan yang akan dikaji dengan pernyataan-pernyataan tujuan, harapan dan keinginan dari permasalahan yang dikemukakan. Berdasarkan latar belakang maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana merancang sistem yang bisa mengetahui ritme musik untuk dijadikan sebagai parameter ritme gerakan tari robot dengan menggunakan *bandpass filter*.
- 2) Bagaimana merancang dan membuat gerakan tari robot yang mengikuti irama atau ritme musik pengiring.

### **1.3 Batasan Masalah**

Akibat banyaknya kemungkinan yang terjadi, permasalahan harus dibatasi. Hal ini berguna demi keefektifan dari waktu ataupun materi dari penelitian skripsi. Dengan mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan, maka hal-hal yang berkaitan dengan penelitian akan diberikan batasan sebagai berikut:

- 1) Gerakan tari robot ditunjukkan oleh indikator LED.
- 2) Hanya dua keadaan ritme gerakan tari robot yang dihasilkan yaitu cepat dan lambat yang ditunjukkan oleh indikator LED.
- 3) Komputer digunakan untuk menampilkan nilai keluaran sistem.

- 4) Musik yang digunakan adalah musik pengiring pada Kontes Robot Seni Indonesia tahun 2014.
- 5) Konsumsi energi sistem tidak memperhitungkan.
- 6) Suara yang diproses oleh sistem adalah suara musik pengiring dan suara yang lain dianggap tidak ada.

#### 1.4 Tujuan

Tujuan dari pembuatan alat ini adalah untuk merancang dan membuat sistem gerakan otomatis robot berdasarkan musik pengiring, sehingga bisa didapatkan sinkronisasi gerakan tari robot yang optimal pada Kontes Robot Seni Indonesia (KRSI). Hal tersebut dilakukan dengan cara membedakan ritme pada musik pengiring. Parameter yang dipakai untuk membedakan ritme musik pengiring adalah frekuensi dan amplitudo dari suara musik gambang pada musik pengiring tersebut. Artinya, jika suara musik gambang terdengar maka robot akan menari dengan ritme gerakan cepat sedangkan jika tidak terdengar suara musik gambang maka robot menari dengan ritme gerakan lambat.

Frekuensi musik diketahui menggunakan simulasi, kemudian diimplementasikan pada perancangan dan pembuatan alat yang sebenarnya. Secara keseluruhan, alat terdiri dari *bandpass filter* untuk membedakan suara musik gambang dengan suara yang lainnya dan *lowpass filter* untuk menentukan keadaan antara ada dan tidak suara. Sebagai pemroses utama, mikrokontroler STM32F100RBT6B menentukan keadaan ritme musik dan keadaan ada musik berdasarkan keluaran kedua *filter*. Pembuatan alat dianggap berhasil jika perbandingan antara keluaran sistem yang dibuat sama atau menyerupai simulasi yang dilakukan.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kontes Robot Seni Indonesia (KRSI)

Kontes Robot Seni tari Indonesia (KRSI) merupakan suatu ajang kompetisi perancangan, pembuatan dan pemrograman robot yang disertai dengan unsur-unsur seni dan budaya bangsa Indonesia khususnya seni tari yang telah terkenal di bumi pertiwi. KRSI pertamakali diadakan pada tahun 2009 dengan tema "*Robot Penari Jaipong*", tahun 2010 dengan tema "*Robot Penari Pendet*", tahun 2011 dengan tema "*Robot Penari Klono Topeng*", tahun 2012 mengangkat tema "*Robot Penari Piring*" dan tahun 2013 mengangkat tema "*Robot Penari hanuman Duto*". Untuk KRSI 2014, tema yang diangkat adalah "*Robot Penari Legong Keraton*". Kegiatan KRSI 2014 ini dilaksanakan bersamaan dengan pelaksanaan Kontes Robot Indonesia (KRI) tingkat Regional dan KRI tingkat Nasional pada tanggal 14-16 Juni 2014 yang dikoordinasi dan didanai oleh Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan bekerjasama dengan institusi Perguruan Tinggi yang ditunjuk.

Tujuan dari kontes robot ini adalah untuk menumbuh kembangkan kreatifitas dan minat para mahasiswa dalam teknologi maju, khususnya teknologi robotika yang selain diperuntukkan bagi industri juga diharapkan dapat membantu kegiatan manusia sehari-hari serta seni budaya khususnya seni tari. Setiap tim peserta yang terdiri dari 3 (tiga) mahasiswa dengan seorang dosen pembimbing, diwajibkan untuk membuat satu atau beberapa robot yang terkoordinasi untuk menampilkan seni budaya yang diinginkan sesuai tema kontes (Dikti, 2014:5).

Robot penari yang digunakan harus menyerupai struktur tubuh manusia dengan tinggi  $50 \pm 5$  cm diukur di posisi kepala. Robot harus memiliki bagian yang dapat disebut sebagai sistem kaki, tubuh, tangan dan kepala. Jumlah derajat kebebasan masing-masing sistem robot minimal 21 (dua puluh satu). Berat robot total maksimum adalah 30 kg. Rentang kaki atau tangan robot maksimal tidak boleh lebih 60 cm diukur dari ujung jari tangan/kaki kanan ke kiri ketika membuka tangan/kaki selebar-lebarnya. Lebar telapak kaki maksimum  $150 \text{ cm}^2$  berbentuk elips, lingkaran atau persegi empat (Dikti, 2014:20).

Gerak tari harus diselaraskan dengan irama musik pengiring tari "Legong Keraton". Waktu yang disediakan untuk setiap unjuk kebolehan tari dalam lomba ini adalah tiga (3) menit sesuai dengan panjang atau durasi irama gamelan pengiring. Dalam waktu tiga (3) menit, musik pengiring akan berhenti sebanyak dua kali masing-masing selama 10-20 detik. Setiap tim pada setiap *game* diberikan kesempatan *retry*. Setiap *retry* akan dikenakan hukuman pengurangan nilai (*penalty*) (Dikti, 2014:25). Gambar 2.1 menunjukkan robot penari Tim ZafrahZahirah dari Universitas Brawijaya dalam perlombaan KRSI 2014.



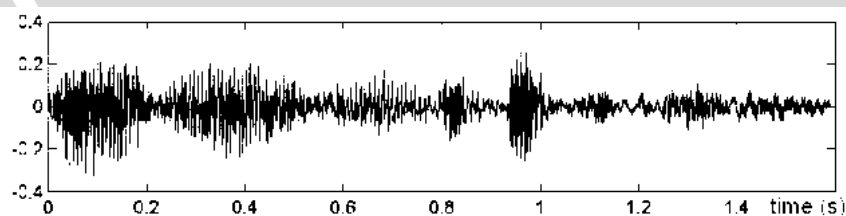
Gambar 2.1 Robot penari dalam perlombaan KRSI 2014.

Secara umum, sinyal didefinisikan sebagai suatu besaran fisis yang merupakan fungsi waktu, ruangan, atau beberapa variabel. Contoh sinyal adalah tegangan listrik (V) sebagai fungsi waktu. Sinyal dapat direpresentasikan secara matematik, misalnya:

$$\delta_1(t) = 5t \text{ (linier)}$$

$$\delta_2(t) = 20t^2 + 5t \text{ (non linier/berbanding kuadrat)}$$

$$\delta_3(t) = 3x + 2xy + 10y \text{ (2 variabel input x dan y)}$$



Gambar 2.2 Contoh Sinyal suara.

Sinyal suara pada Gambar 2.2 dapat dituliskan sebagai fungsi penjumlahan dari gelombang sinus dengan amplitudo berbeda:  $\sum A_i = \sin [2\pi F_i(t) + \theta_i(t)]$ . Suatu sinyal

mempunyai beberapa jenis informasi yang dapat diamati, misalnya amplitudo, frekuensi, perbedaaan fase, dan gangguan akibat *noise*. Suatu sinyal listrik dapat direpresentasikan sebagai getaran. Sinyal dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis, yaitu sinyal analog (*continue*) dan sinyal dikrit (*digital*). Komponen-komponen untuk pengolahan sinyal harus disesuaikan dengan jenis sinyalnya (Tanudjaja, 2007:3). Pada umumnya sinyal dinyatakan dalam bentuk tegangan atau arus. Persamaan umum sinyal sinus dapat dinyatakan dalam Persamaan (2-1).

$$y = A \sin (\omega \tau + \varphi) \quad (2 - 1)$$

dengan:

y : simpangan sesaat getaran

A: simpangan getaran

$\omega$ : frekuensi sudut

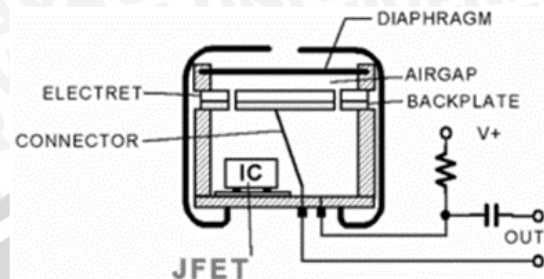
$\varphi$  : fase getaran

## 2.2 Mikrofon

Mikrofon adalah transduser elektromekanis yang mengubah perubahan-perubahan dalam tekanan udara menjadi perubahan-perubahan yang sesuai dalam sinyal listrik. Berdasarkan prinsip kerjanya, macam-macam mikrofon yang dikenal sekarang dapat dikelompokkan menjadi lima jenis, yaitu resistansi variabel, reluktansi variabel, induksi kumparan-bergerak (*moving coil induction*), kapasitansi variabel dan piezoelektrik (Roddy dan Coolen, 1984:104). Mikrofon elektret (*electret microphone*) adalah suatu jenis khusus dari mikrofon kapasitor yang sudah mempunyai sumber muatan sendiri yang terpasang di dalamnya, sehingga tidak memerlukan lagi satu pencatu daya luar. Sumber muatan itu sebenarnya adalah sebuah alat penyimpan muatan (*charge storage device*). Bila diproses dengan semestinya, jenis-jenis tertentu dari bahan-bahan penyekat akan menangkap muatan-muatan tetap dalam jumlah besar dan mempertahankannya untuk waktu yang tak terbatas. Teflon adalah bahan yang sering digunakan untuk pembuatan mikrofon-mikrofon elektret. Gambar 2.3 menunjukkan penampang sebuah mikrofon elektret berkualitas tinggi.

Pada Gambar 2.3, pelat-belakang (*backplate*) dari mikrofon dilapisi dengan suatu lapisan Teflon yang bermuatan, yang menyediakan sumber muatan tetap untuk menyiapkan mikrofon kapasitor tersebut. Lapisan tipis ini mengandung sejumlah besar muatan-muatan negatif yang terperangkap (*trapped*), yang mengimbas (*induce*)-kan padanya lewat sebuah resistor beban luar. Muatan-muatan yang terperangkap pada

satu sisi dan muatan bayangan pada sisi yang lain menimbulkan medan listrik pada celah yang membentuk kapasitor. Bila tekanan udara menyebabkan diafragma bergerak ke muka dan ke belakang, kapasitansi akan berubah-ubah, dan tegangan terminal berubah pula.



Gambar 2.3 Mikrofon Elektret.

Sumber: Roddy dan Coolen (1984:111).

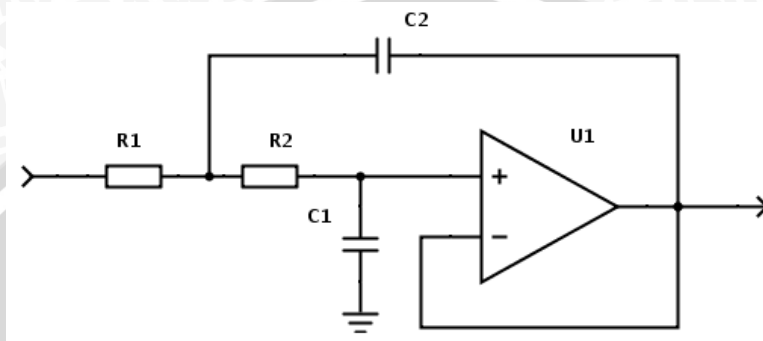
Sebuah versi mikrofon elektret yang tidak begitu mahal menggunakan diafragma plastik untuk bahan elektret, ini kemudian dilapisi dengan film logam yang tipis untuk menyediakan elektroda diafragma yang menghantar. Diafragma ini adalah tidak sekuat terbuat dari Teflon. Sehingga, diperlukan tiang-tiang isolator penyangga pada celah udara untuk mempertahankan jarak pemisahannya (Roddy dan Coolen, 1984:111).

### 2.3 Penapis (*Filter*)

Sebuah penapis atau *filter* adalah sebuah alat atau rangkaian atau substansi yang meneruskan atau meloloskan arus listrik pada frekuensi-frekuensi atau jangkauan frekuensi tertentu serta menahan (menghalangi) frekuensi-frekuensi lainnya. Secara khusus, sebuah penapis aktif adalah suatu rangkaian penapis yang tersusun atas resistor-resistor dan kapasitor-kapasitor disertai dengan suatu rangkaian penguat, biasanya berupa penguat oprasional (*Op-Amp*). Sedangkan penapis pasif hanya terdiri rangkaian inti penapis yang terdiri dari resistor, induktor dan kapasitor (Putra, 2002:1).

Berdasarkan sifat meneruskan atau meloloskan arus listrik ini, *filter* dibedakan menjadi 4 macam, yaitu *low pass filter* (LPF), *high pass filter* (HPF), *bandpass filter* (BPF), dan *band reject filter* (BRF). Berdasarkan pemrosesnya *filter* dapat dibedakan menjadi 2 bagian: yaitu *filter* analog dan *filter* digital. *Filter* analog dapat dibagi menjadi 2, yaitu *filter* pasif dan *filter* aktif. Sedangkan *filter* digital dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu *filter* IIR dan FIR. *Filter* digital direalisasikan dalam bentuk algoritma (program) yang diturunkan dari model matematikanya, yang dinyatakan dalam bentuk persamaan beda (Tanudjaja, 2007:23). Berdasarkan analisis perancangan dan *ripple*

responnya, *filter* dapat diklasifikasikan menjadi *Butterworth filter*, *Chebyshev filter*, *Bessel filter* dan *Elliptic filter*. Pada orde yang lebih tinggi, *filter* dibedakan menjadi 2 topologi berdasarkan implementasi kutub masukan yang digunakan pada *op-amp*, yaitu topologi *Sallen-Key (VCVS)* dan topologi *Multiple Feedback (MFB)*. Berikut adalah contoh dari *lowpass filter 2nd order* dengan topologi *Sallen-Key* yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.4 *Lowpass filter 2nd order Sallen-Key topology*.

Sumber: Putra (2002:31).

Pada Gambar 2.3, frekuensi *cut off*-nya dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (2-2) berikut:

$$f_c = \frac{1}{2\pi(R_1 R_2 C_1 C_2)^{\frac{1}{2}}} \quad (2-2)$$

dengan:

$f_c$  = frekuensi *cut off filter*

R = Tahanan atau resistansi ( $\Omega$ )

C = Kapasitansi (F)

Untuk keperluan komputasi, tanggapan frekuensi dari sembarang *lowpass filter 2nd order* dengan penguatan G berdasarkan Persamaan (2-3) berikut:

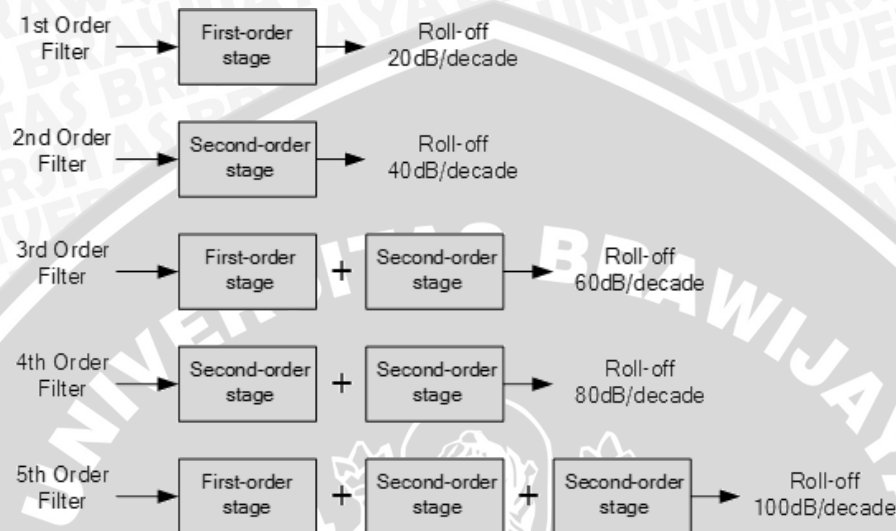
$$dB = 20 \log_{10} G - 20 \log_{10} G [\omega^2 + (\alpha^2 - 2)\omega^2 + 1]^{\frac{1}{2}} \quad (2-3)$$

$\alpha$  merupakan faktor redaman serta mengatur pola atau bentuk dari tanggapan amplitudo.

Untuk pembahasan digunakan tanggapan *Butterworth* karena mudah dipahami serta merupakan pilihan yang baik (Putra, 2002:63). Untuk tanggapan *Butterworth* orde kedua, dengan  $\alpha = 1,414$ , Persamaan (2-3) menjadi

$$dB = 20 \log_{10} G - 20 \log_{10} G [\omega^2 + 1]^{\frac{1}{2}} \quad (2-4)$$

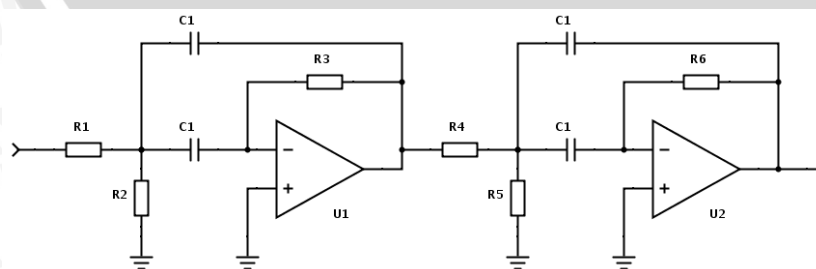
*Filter* aktif dengan orde lebih tinggi dari dua (2) dibuat dengan cara menghubungkan secara seri (kaskade) *filter* orde pertama dan kedua (Putra, 2002:93). Jika *filter* orde kedua yang dikaskadekan maka bagian-bagian *filter* orde kedua tersebut menjadi tidak sama. Pengkaskadean *filter* orde tinggi ditunjukkan seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Diagram blok pengkaskadean *highpass filter* orde tinggi.

Sumber: Putra (2002:23).

Semakin tinggi orde dari suatu *filter* maka tanggapan dari *filter* tersebut akan semakin tajam. Berikut adalah salah satu contoh *filter* orde tinggi, yaitu *bandpass filter 4th order* dengan topologi *Multiple Feedback* yang ditunjukkan seperti pada Gambar 2.6. Pada *bandpass filter* dikenal istilah frekuensi tengah (*center frequency*) dan lebar pita (*bandwidth*). Frekuensi tengah ( $f_0$ ) merupakan titik munculnya penguatan tegangan paling besar (maksimum). Lebar pita (*bandwidth*) adalah perbedaan antara frekuensi atas ( $f_H$ ) dan bawah ( $f_L$ ) di bawah penguatan tegangannya ( $G$ ) yaitu 0,707 kali dari nilai maksimum atau 3 dB lebih rendah dari penguatan tegangan frekuensi tengah.



Gambar 2.6 *Bandpass filter 4th order Multiple feedback topology*.

Sumber: Putra (2002:40).

Ketajaman (*sharpness*) dari tanggapan *bandpass filter* disekitar frekuensi tengah tergantung pada nilai faktor redaman (Q)-nya dan sekaligus tergantung pada lebar-pita 3 dB -nya yang ditunjukkan pada persamaan:

$$Q = \frac{\omega_0}{3\text{-dB bandwidth}} \quad (2-5)$$

3 dB *bandwidth* adalah selisih antara frekuensi tinggi dan rendahnya tanggapan amplitudonya lebih kecil 3 dB daripada frekuensi tengahnya. Dari Persamaan (2-4) tersebut kemudian diperoleh:

$$Q = \frac{\omega_0}{\omega_H - \omega_L} \quad (2-6)$$

Dengan mengkaskadekan secara benar dua atau lebih *bandpass filter* 1-kutub, *2nd order*, akan diperoleh *rolloff*  $> \pm 6$  dB/oktaf. Misalnya jika dua bagian 1-kutub *2nd order* yang sama dikaskadekan, akan diperoleh *bandpass filter 4th order* 2-kutub dengan *rolloff* mendekati  $\pm 12$  dB/oktaf ( $\pm 40$  dB/decade), tanggapan amplitudonya:

$$\text{dB} = 40 \log_{10} G - 40 \log_{10} \left[ 1 + Q^2 \left( \frac{\omega^2 - 1}{\omega} \right)^2 \right] \quad (2-7)$$

Tetapi jika dua bagian 1-kutub dikaskadekan, penapis 2-kutub yang dihasilkan tidak memiliki Q yang sama dengan 1-kutub tunggal, karena berlaku persamaan:

$$Q_{2\text{kutub}} = 1,553 \times Q_{1\text{kutub}} \quad (2-8)$$

Dengan demikian, jika  $Q_{1\text{kutub}} = 5$ , maka

$$Q_{2\text{kutub}} = 1,553 \times 5 = 7,77$$

Konsekuensinya jika diinginkan  $Q_{2\text{kutub}} = 5$ , maka

$$Q_{1\text{kutub}} = 0,644 \times Q_{2\text{kutub}} \quad (2-9)$$

$$Q_{1\text{kutub}} = 0,644 \times 5_{2\text{kutub}}$$

$$Q_{1\text{kutub}} = 3,220 \times 5_{2\text{kutub}}$$

Untuk menentukan nilai yang tepat untuk Q pada 1-kutub agar menghasilkan nilai Q pada orde-orde atau kutub-kutub *filter* yang lebih tinggi secara cepat, dapat digunakan pengali yang ditunjukkan pada Tabel 2.1. Karena masing bagian *filter* adalah identik, dengan nilai kapasitansi  $C_1=C_2=C_3=C_4=C$  maka nilai resistansi dapat dicari menggunakan Persamaan (2-9), (2-10), dan (2-11) sebagai berikut:

$$R_1 = R_4 = \frac{Q}{GC\omega_0} \quad (2-10)$$

$$R_2 = R_5 = \frac{Q}{(2Q^2 - G)C\omega_0} \quad (2-11)$$

$$R_3 = R_6 = \frac{2Q}{C\omega_0} \quad (2-12)$$

dengan:

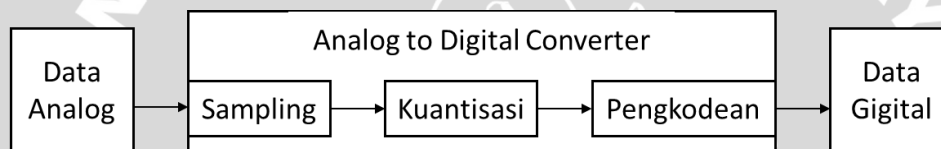
$$G = \frac{R_3}{3R_1} \quad (2-13)$$

Tabel 2.1 Pengali untuk *filter* orde lebih tinggi

Typo <i>filter</i>	Rolloff	Q1-kutub
Order 4 <sup>th</sup> , 2-kutub	+12dB/oktaf	0,644 Q <sub>2-kutub</sub>
Order 6 <sup>th</sup> , 3-kutub	+18dB/oktaf	0,510 Q <sub>2-kutub</sub>
Order 8 <sup>th</sup> , 4-kutub	+24dB/oktaf	0,435 Q <sub>2-kutub</sub>

## 2.4 Analog to Digital Converter (ADC)

*Analog to Digital Converter* (ADC) adalah suatu perangkat yang mengubah suatu data kontinu terhadap waktu (analog) menjadi suatu data diskrit terhadap waktu (digital). Proses yang terjadi dalam ADC adalah pencuplikan (*sampling*), kuantisasi, dan pengkodean. Proses ADC secara keseluruhan ditunjukkan seperti pada Gambar 2.7.

Gambar 2.7 Proses *Analog to Digital Converter* (ADC).

Pencuplikan adalah suatu proses mengubah sinyal analog menjadi sinyal diskrit agar sesuai dengan format digital. Dalam Gambar 2.8 ditunjukkan contoh sinyal hasil pencuplikan (*sampling*) (Sophocles, 2010:5). Dalam pengambilan sampel diperlukan saklar yang dikendalikan oleh pengatur waktu (*timing circuit*) yang terdiri atas komponen-komponen digital. Untuk dapat mengamati setiap perubahan yang terjadi pada sebuah sinyal analog (dalam hal ini perubahan level amplitudo), dapat diketahui salah satu caranya dengan mengamati pada periode waktu tertentu, proses ini dikenal sebagai metode *sampling* (pencuplikan) dan hasilnya disebut sinyal sampel.

Untuk mendapatkan informasi yang menyerupai informasi asli, penyamplingan dilakukan sesuai dengan teorema *nyquist*, yaitu:

$$F_s \geq 2F_{max} \quad (2-14)$$

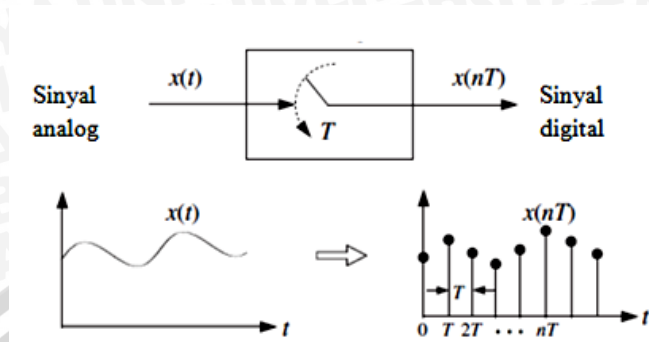
dengan:

$F_s$  adalah frekuensi sinyal *sampling* (Hz) dan

$F_{max}$  adalah frekuensi sinyal (Hz) yang akan dicuplik (*sampling*)



Semakin tinggi frekuensi sinyal pencuplikan maka sinyal sampel yang dihasilkan juga semakin mendekati sinyal asli yang dicuplik, dan informasi yang hilang juga akan semakin sedikit.

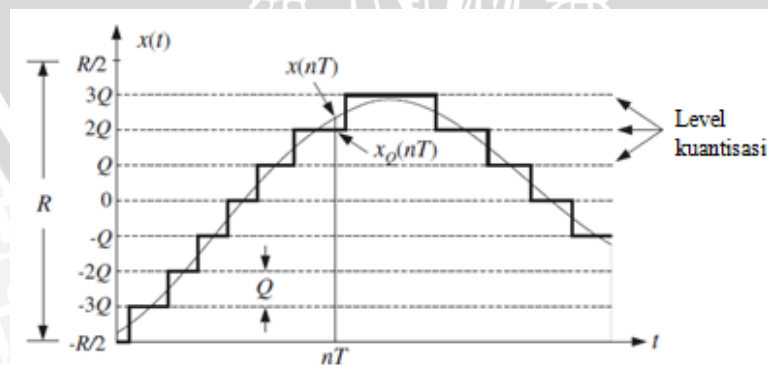


Gambar 2.8 Pencuplikan Sinyal.

Sumber: Sophocles (2010:5).

Kuantisasi adalah suatu tahap pemetaan dari sinyal yang telah dicuplik menjadi sinyal dengan level tertentu berdasarkan bit ADC yang digunakan. Setiap pemetaan akan menghasilkan  $2^n$  rentang (R), dan  $2^n - 1$  level misalnya dalam suatu kuantisasi digunakan 3 bit ADC maka akan menghasilkan  $2^3 = 8$  rentang dan  $2^3 - 1 = 7$  level, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.9 (Sophocles, 2010:62). Semakin banyak kelompok-kelompok dalam proses kuantisasi, berarti semakin kecil selisih data diskrit yang didapatkan dari data analog, maka ADC tersebut semakin teliti memproses suatu data analog menjadi data digital. Data hasil kuantisasi untuk resolusi 12-bit (4095) dirumuskan dalam Persamaan (2-15).

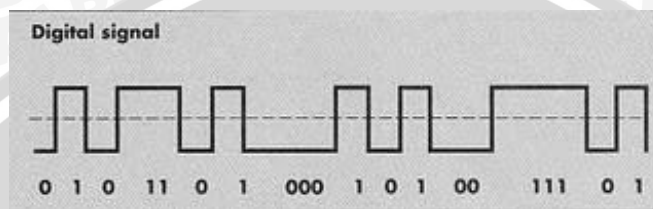
$$ADC = \frac{V_{in}}{V_{ref}} \times 4095 \quad (2-15)$$



Gambar 2.9 Sinyal Hasil Kuantisasi.

Sumber: Sophocles (2010:62).

Pengkodean merupakan proses mengubah suatu besaran tertentu kedalam bentuk lain yang dikenali berdasarkan ketentuan yang teratur. Setelah sinyal dibulatkan ke nilai paket terdekat maka sinyal sudah dapat dikodekan, untuk mengubah sinyal terkuantisasi menjadi sinyal digital sinyal diberi rentang *coding*. Misalnya apabila suatu nilai memenuhi suatu keadaan maka nilai tersebut akan direpresentasikan menjadi nilai biner 1 (logika tinggi) sedangkan untuk keadaan sebaliknya direpresentasikan menjadi nilai biner 0 (logika rendah) dengan batas yang jelas, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10.

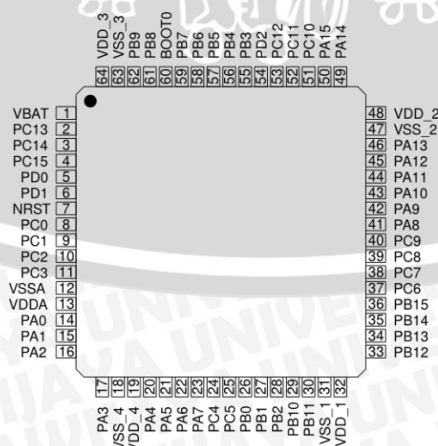


Gambar 2.10 Sinyal Hasil Pengkodean.

Sumber: Sophocles (2010:76).

## 2.5 Mikrokontroler STM32F100RBT6B

Mikrokontroler STM32F100RBT6B adalah mikrokontroler 32-bit dengan arsitektur RISC buatan STMicroelectronics keluarga ARM Cortex™-M3 yang beroperasi pada *clock* 24 MHz. Mikrokontroler ini memiliki 128 KBytes *Flash memory*, 8 Kbytes SRAM, berbagai *peripheral* dan I/O yang terhubung dengan dua *bus* APB. Perangkat yang ada berupa antarmuka komunikasi standar (dua I2C, dua SPI, satu CEC HDMI, dan tiga USART), satu 12-bit ADC, dua 12-bit DAC, enam *general-purpose* 16-bit *timer* dan *advanced-control* PWM *timer*. Konfigurasi *pin* STM32F100RBT6B ditunjukkan pada Gambar 2.11.

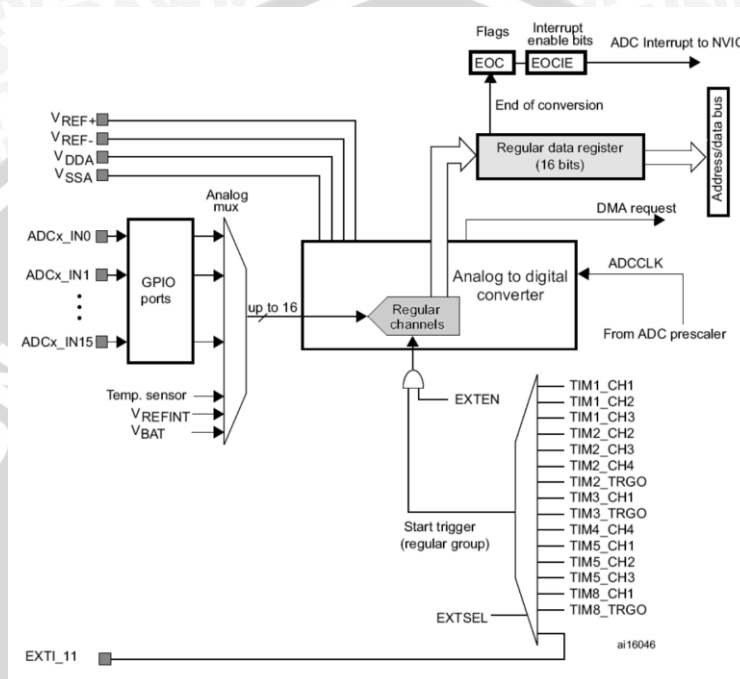


Gambar 2.11 Konfigurasi *Pin* STM32F100xx.

Sumber: STMicroelectronics (2012:23).

### 2.5.1 ADC Mikrokontroler

Terdapat satu 12-bit *analog to digital* (ADC) blok yang tersedia dalam mikrokontroler STM32F100RBT6B. Waktu konversi untuk setiap blok ADC adalah 1 us. Blok ADC mencakup dua ADC atau lebih dengan fitur serupa ditambah pengaturan-pengaturan tambahan. Sebuah diagram blok sederhana untuk satu *block* ADC ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Blok diagram single ADC mikrokontroler ARM.

Sumber: STMicroelectronics (2012:70).

ADC yang sebenarnya terletak di tengah pada Gambar 2.12. *Power supply* untuk operasi berasal dari  $V_{DDA}$  dan  $V_{SSA}$  sedangkan referensi berdasarkan  $V_{REF+}$  dan  $V_{REF-}$ . Semua *pin* tersebut merupakan *pin* yang terdapat pada mikrokontroler. Selain itu diperlukan sinyal *clock* ADCCLK yang dihasilkan dalam mikrokontroler. Sinyal *input* analog yang terhubung ke *pin* mikrokontroler adalah  $ADCx\_IN_{xx}$  dan dimasukkan ke ADC melalui multiplekser bernama *analog mux*. Terdapat 16 *pin* yang tersedia untuk dihubungkan ke sinyal analog dan terdapat tambahan tiga *input* multiplekser untuk pengukuran suhu *chip*. *Input pin* yang sesuai dipilih dengan menetapkan bit di salah satu register ADC. Hal yang perlu diketahui bahwa sinyal masukan analog tidak boleh bercampur dengan sinyal masukan digital. *Pin* yang digunakan untuk masukan harus dikonfigurasi sebagai *pin* masukan sinyal analog.

ADC menulis hasil konversi ke dalam daftar data reguler (ADCx\_DR) dengan  $x$  merupakan indeks ADC yang digunakan (1, 2 atau 3). Blok ADC meliputi perangkat keras yang mendukung hingga 16 konversi berturut-turut di *pin* yang diinisialisasi di awal. Namun, hanya ada satu register untuk menahan hasil konversi sehingga data sebelum konversi berikutnya selesai atau hasil sebelumnya akan hilang. DMA (*Direct Memory Access*) dapat dimanfaatkan untuk memindahkan hasil tanpa mengganggu kerja mikroprosesor.

### 2.5.2 General Purpose Input/Output (GPIO)

Masing-masing *port* dari GPIO bisa dijadikan *input*, *output* dan fungsi alternatif. Bila *port* dijadikan sebagai *output* ada beberapa konfigurasi yang dapat dilakukan secara *software*, yaitu jenis *outputpush pull* atau *open drain*, dengan atau tanpa *pull-up/pull-down*. Jika digunakan sebagai *input* maka dapat dikonfigurasi sebagai *floating*, *pull-up* dan *pull-down*. Fungsi alternatif setiap *port* GPIO memiliki fungsi tersendiri, salah satunya yaitu sebagai *pin* untuk ADC. Kecepatan I/O untuk beresilasi maksimum sampai 50 MHz.

### 2.5.3 Direct Memory Access(DMA)

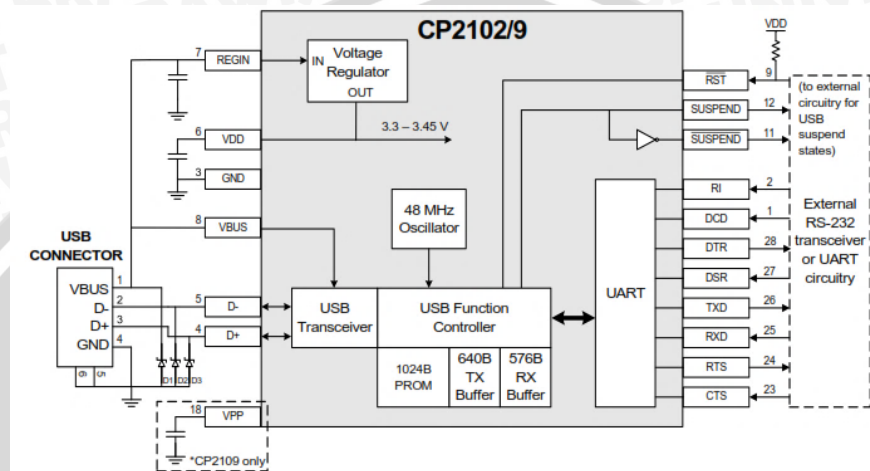
*Direct Memory Access* (DMA) merupakan suatu teknik perpindahan data dari suatu alamat memori ke alamat memori yang lain tanpa mengganggu kerja dari mikroprosesor. Pada mikrokontroler terdapat 2 *port* DMA, yang masing masing *port* memiliki 8 aliran data yang sanggup menangani perpindahan dari memori ke memori, *peripheral* ke memori dan memori ke *peripheral*. DMA dapat diintegrasikan dengan *peripheral*:

- SPI (*Serial Peripheral Interface*)
- I2C (*Inter Integrated Circuit*)
- USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*) *Timer*
- DAC (*Digital to Analog Converter*)
- ADC (*Analog to Digital Converter*)

## 2.6 USB to TTL

Untuk melakukan komunikasi data dari PC dengan sistem mikrokontroler, tidak bisa dilakukan sembarangan. Komputer yang pada umumnya menggunakan antarmuka USB (dengan level tegangan sinyal differensial, D+ dan D-), harus dihubungkan dengan mikrokontroler (dengan level tegangan TTL USART) melalui sebuah konverter. Di pasaran beredar modul konverter USB ke TTL dengan rangkaian yang bervariasi. Salah

satunya rangkaian berbasis CP2102. Gambar 2.13. menunjukkan rangkaian CP2102. Data dari komputer dihubungkan melalui *port* USB ke *pin* D+ dan D-, sedangkan data dari mikrokontroler dihubungkan ke *port* transmitter Tx serta *port* receiver Rx. Tegangan kerja yang digunakan dari rangkaian ini ke mikrokontroler bisa menggunakan tegangan 3V maupun 5V, dengan satu keluaran tegangan referensi (GND). Untuk membaca data dari mikrokontroler ke komputer bisa menggunakan fasilitas *Serial Terminal*.



Gambar 2.13 Rangkaian USB to TTL CP2102.

Sumber: Silicon Laboratories (2013:1).

## BAB III

### METODE PENELITIAN

Metode kajian yang digunakan dalam penelitian bersifat aplikatif mengenai bagaimana implementasi sinkronisasi ritme musik pengiring terhadap gerakan tari robot KRSI sehingga robot dapat menari mengikuti ritme musik. Agar penelitian dapat dilakukan seperti yang direncanakan maka diperlukan beberapa langkah antara lain spesifikasi alat, perencanaan dan pembuatan alat, pengujian alat serta pengambilan kesimpulan dan saran. Sehingga, diharapkan penelitian bisa mendapatkan suatu keberhasilan.

#### 3.1 Penentuan Spesifikasi Alat

Sebelum melakukan perencanaan dan pembuatan alat, maka ditentukan spesifikasi alat terlebih dahulu yang akan dibuat. Hal ini dimaksudkan untuk mempermudah dan lebih fokus dalam perancangan dan pembuatan alat. Adapun spesifikasi alat yang akan dibuat dan direalisasikan adalah sebagai berikut:

- Mikrokontroler yang digunakan adalah STM32F100RBT6B dalam modul *STM32VLDDiscovery*.
- Resolusi ADC yang dipakai untuk proses kuantisasi adalah sebesar 12 bit.
- Sensor yang digunakan untuk menangkap sinyal suara musik adalah sebuah *microphone electret condenser*.
- Op-Amp yang digunakan pada rangkaian sistem adalah LM358.
- *USB to TTL converter* yang digunakan bertipe CP2102.
- Sumber tegangan berupa baterai *Lithium Polymer 2 Cells*.

#### 3.2 Perancangan dan Pembuatan Alat

Perancangan dan pembuatan alat dalam penelitian ini dibagi menjadi perancangan *hardware* dan *software*. Perancangan *hardware* dilakukan terlebih dahulu, yaitu berupa perancangan sistem dan perancangan rangkaian elektronik. Perancangan *software* dilakukan setelah perancangan *hardware* yang berupa perancangan algoritma kerja dari sistem yang dirancang.

##### 3.2.1 Perancangan Sistem

Perancangan sistem merupakan perancangan awal alat secara umum. Perancangan ini merupakan gambaran dasar dari semua perancangan yang dilakukan

pada pembuatan sistem secara keseluruhan. Sumber dari perancangan ini merupakan ide awal dari penulis dan hanya berupa diagram blok sistem keseluruhan.

### 3.2.2 Perancangan Desain Ritme Gerakan Tari

Penentuan ritme gerakan tari diperlukan untuk membuat ritme gerakan tari yang bisa sinkron dengan ritme musik pengiring. Untuk itu digunakan beberapa perangkat lunak seperti *parametric equalizer* pada Adobe Audition untuk menentukan nilai frekuensi suara musik dan Tina-TI untuk melakukan simulasi. Dari perancangan desain ritme gerakan tari ini diharapkan bisa dibuat gerakan tari yang sesuai.

### 3.2.3 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan perangkat keras ditekankan pada perancangan rangkaian sensor suara, perancangan rangkaian *filter* dan rangkaian antarmuka mikrokontroler. Papan rangkaian tercetak (PCB) dirancang dengan menggunakan perangkat lunak EAGLE (*Easily Applicable Graphical Layout Editor*). Sementara untuk rangkaian mikrokontroler dan USB to TTL digunakan modul yang sudah jadi.

### 3.2.4 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak (*Software*)

Perancangan dan pembuatan perangkat lunak dilakukan setelah perancangan dan pembuatan perangkat keras dilakukan. Perangkat lunak yang dirancang merupakan instruksi-instruksi yang ditujukan kepada perangkat keras agar bisa bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Perancangan algoritma perangkat lunak dilakukan terlebih dahulu dengan pembuatan *flowchart* sub sistem hingga sistem secara keseluruhan hingga dibuat program berdasarkan algoritma dari *flowchart* yang telah dirancang melalui *software compiler* Coocox CoIDE-1.7.7.

## 3.3 Pengujian Alat

Untuk menganalisis kinerja alat apakah sesuai dengan yang dirancang maka dilakukan pengujian sistem. Pengujian awal dilakukan pada masing-masing blok pada perancangan *hardware* untuk menunjang pengujian keseluruhan. Pengujian keseluruhan dilakukan untuk mengetahui apakah *software* sudah dapat berjalan dengan benar atau tidak.

### 3.3.1 Pengujian dan Analisis Sub Sistem

Pada bagian ini pengujian dan analisis dilakukan pada masing-masing blok. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah masing-masing blok dapat bekerja

sesuai dengan fungsinya seperti yang telah direncanakan. Berdasarkan pada perancangan yang telah dibuat, maka pengujian dan analisis yang akan dilakukan meliputi:

### 1. Hasil Pengambilan Data Musik dan Perancangan Desain Ritme Gerakan

Data musik yang diambil digunakan untuk menentukan parameter perancangan *hardware*. Parameter yang dibutuhkan berupa sinyal dan frekuensi suara musik. Parameter tersebut akan digunakan sebagai patokan pada perancangan berikutnya.

### 2. Pengujian Rangkaian Sensor Suara

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bahwa sensor yang digunakan bisa menghasilkan sinyal listrik dari sumber suara yang ditangkapnya. Sinyal yang diberikan merupakan sinyal suara manusia. Jika sensor bisa menghasilkan sinyal listrik ketika diberikan suara dan sinyal mendekati 0 Volt ketika tidak ada suara maka pengujian sensor dianggap berhasil.

### 3. Pengujian ADC Mikrokontroler

Pengujian ini dilakukan untuk menguji nilai digital dari hasil konversi tegangan analog oleh mikrokontroler. Tegangan analog hanya diberikan kepada salah satu ADC mikrokontroler saja. Pengujian dianggap berhasil jika nilai hasil konversi ADC mikrokontroler sama atau mendekati nilai hasil perhitungan secara teori.

### 4. Pengujian Rangkaian *Filter*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara tegangan keluaran dan tegangan masukan *filter* yang diberikan untuk menghasilkan nilai redaman yang diinginkan. Filter yang diuji terdiri dari *lowpass filter* dan *bandpass filter*. Pengujian dianggap berhasil jika perbandingan nilai tegangan keluaran dan masukan *filter* sama atau mendekati nilai perhitungan secara teori.

### 5. Pengujian USB to TTL

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bahwa sistem bisa mengirimkan data dari mikrokontroler sesuai yang diinginkan atau belum. Data yang dikirimkan merupakan data tertentu saja. Pengujian dianggap berhasil jika data yang diterima oleh komputer sama dengan data yang dikirimkan oleh mikrokontroler.

#### 3.3.2 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem ini dilakukan dengan menyambungkan semua *hardware* yang dibuat berdasarkan blok diagram. Program yang dibuat berdasarkan *flowchart* digabungkan dengan *hardware* yang telah dibuat. Sistem bekerja dengan baik jika dapat berjalan sesuai dengan *flowchart* yang telah direncanakan.

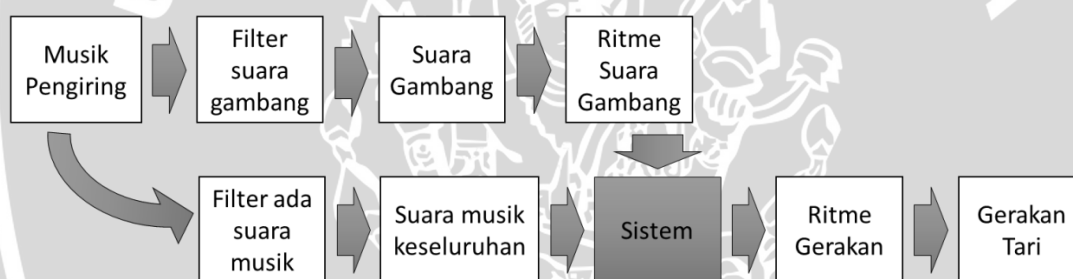


## BAB IV

### PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

#### 4.1 Perancangan Sistem

Sistem yang dirancang berupa sistem yang bisa mengenali atau mengetahui bagian dari musik pengiring untuk dijadikan sebagai parameter gerakan tari robot. Pada musik pengiring yang digunakan terdapat bermacam-macam suara dari masing-masing alat musik yang dimainkan. Setiap suara memiliki ketukan dengan frekuensi suara berbeda. Maka dari itu, jenis suara yang diambil hanya satu jenis saja, yaitu suara alat musik gamelan jenis gambang. Suara alat musik gambang dipilih karena memiliki suara yang paling keras dan memiliki ritme yang bervariasi, sehingga bisa dijadikan sebagai acuan ritme gerakan tari. Sistem yang akan dirancang adalah sistem yang bisa membaca ritme suara gambang untuk digunakan sebagai parameter ritme gerakan tari. Alur kerja sistem yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Alur kerja sistem.

#### 4.2 Pengambilan Data Musik dan Perancangan Desain Ritme Gerakan Tari

Pengambilan data parameter musik pengiring dilakukan untuk menentukan ritme gerakan berdasarkan ritme musik gambang. Untuk bisa membaca frekuensi suara musik gambang, maka suara musik selain musik gambang harus dihilangkan atau diredam terlebih dahulu, yaitu dengan menggunakan *parametric equalizer* dengan cara memperkecil *range* frekuensi musik yang diputar hingga terdengar musik gambangnya saja. Parameter yang diambil adalah amplitudo dan frekuensi dari suara musik. Untuk alur pengambilan data musik seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2.

Setelah *range* frekuensi didapat, maka *range* frekuensi tersebut digunakan sebagai frekuensi *cut off* pada *filter* yang disimulasikan. Pada simulasi *filter* digunakan rangkaian *bandpass filter* dengan *input filter* berupa sinyal musik pengiring yang digunakan. Sinyal keluaran yang diinginkan adalah sinyal dari musik gambang saja,

sehingga untuk membuktikan suara yang disaring benar-benar suara gambang atau bukan maka pada simulasi *filter* diberikan *output speaker* untuk mendengar suara musik yang telah diredam.



Gambar 4.2 Alur pengambilan data musik.

Setelah proses pem-*filter*-an, proses selanjutnya adalah proses pengambilan data musik yang sudah di-*filter*. Data yang diambil berupa data amplitudo dan data frekuensi. Data frekuensi digunakan untuk menunjukkan bahwa musik yang di-*filter* sudah benar atau belum, sedangkan data amplitudo digunakan sebagai parameter penentuan gerakan tari. Gerakan tari yang akan digunakan memiliki dua tipe ritme gerakan dan keadaan ketika ada atau tidak suara musik. Ritme gerakan yang dirancang berupa ritme gerakan cepat dan ritme gerakan lambat. Pada saat keadaan ada suara musik sistem harus memberikan perintah kepada robot untuk menari sedangkan ketika tidak suara musik, sistem memberikan perintah untuk diam.

Kedua tipe ritme gerakan ditentukan berdasarkan nilai batas ambang amplitudo yang didapat. Nilai batas ambang didapat berdasarkan nilai amplitudo sinyal ketika suara musik gambang terdengar. Untuk penentuan gerakan ketika musik tidak ada, amplitudo sinyal yang digunakan tidak hanya sinyal suara gambang saja, tapi sinyal suara keseluruhan musik pengiring. Nilai batas ambang yang digunakan adalah nilai yang berada di bawah nilai minimum amplitudo sinyal, sehingga ketika nilai amplitudo berada dibawah nilai minimum robot akan berhenti menari. Hasil pembuatan ritme gerakan tari dijadikan sebagai tolak ukur perbandingan terhadap keluaran sistem yang dirancang. Pada satu musik pengiring terdapat beberapa jenis tarian yang dilakukan. Maka dari itu juga diperlukan pembagian waktu setiap gerakan tari. Berikut adalah nama-nama gerakan yang digunakan dan pembagian waktunya yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Penentuan waktu gerakan didasarkan pada waktu musik pengiring yaitu 239 detik. Jenis gerakan tari yang diperbolehkan ada tiga macam pada tiga zona lapangan dan dua kali sembah saat pembuka dan penutup. Penentuan lama waktu yang pertama adalah penentuan lama waktu jalan, karena jalan memerlukan waktu tersendiri untuk bisa sampai pada zona penutup tepat pada waktunya. Waktu jalan yang ditentukan adalah 100 detik

tanpa gerakan tambahan, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk melakukan tarian tersisa 139 detik untuk semua gerakan.

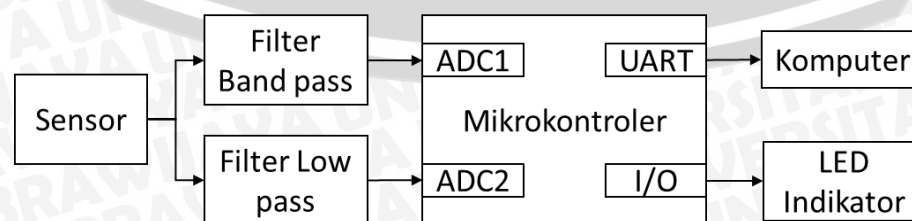
Tabel 4.1 Nama jenis gerakan tari

Tempat	Gerakan
Zona Pembuka	Sembah pembuka
Zona I	Pepeson atau condong
Zona II	Pengawak dan pengecet
Zona III	Gerak pakaad
Zona Penutup	Sembah penutup

### 4.3 Perancangan *Hardware*

Setelah frekuensi musik gambang dan frekuensi musik keseluruhan diketahui, maka berikutnya adalah perancangan perangkat keras (*hardware*). Secara garis besar, diagram blok perancangan perangkat keras (*hardware*) sistem secara keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 4.3. Fungsi masing-masing bagian dalam diagram blok pada Gambar 4.3 adalah sebagai berikut:

- Sensor yang digunakan adalah sebuah mikrofon yang berfungsi untuk mengubah sinyal suara menjadi sinyal listrik.
- Bandpass filter* digunakan untuk meredam suara selain musikgambang, sinyal keluaran dari *filter* ini diproses untuk menentukan ritme gerakan.
- Lowpass filter* digunakan untuk melewatkan suara musik secara keseluruhan atau secara khusus digunakan untuk membedakan keadaan antara ada atau tidak ada suara musik.
- Data analog keluaran dari *bandpass filter* dan *lowpass filter* akan masuk ke ADC untuk dilakukan pemrosesan konversi sinyal analog ke digital.
- Data hasil konversi sinyal oleh ADC digunakan untuk menentukan ritme gerakan tari dan keadaan ada atau tidak adanya suara musik pada indikator LED.
- Komputer digunakan untuk melihat sinyal hasil knversi ADC dalam bentuk digital.



Gambar 4.3 Diagram blok *hardware* sistem secara keseluruhan.

Cara kerja sistem sendiri, yaitu sensor suara akan membaca gelombang suara yang dihasilkan oleh sumber audio. Frekuensi gelombang musik yang dihasilkan oleh sumber audio yang ditangkap oleh sensor akan berubah-ubah antara 20 Hz – 20 kHz. Amplitudo sinyal suara keluaran sensor akan dipengaruhi oleh besar kecilnya volume suara dari sumber audio. Meskipun demikian, amplitudo sinyal suara yang dihasilkan masih dalam orde yang kecil dan belum sesuai dengan *range* tegangan masukan ADC mikrokontroler yaitu 0 – 3 Volt dan dengan resolusi ADC 12bit (0 – 4095). Untuk mendapatkan pembacaan sinyal yang lebih presisi dibutuhkan rangkaian pengondisi sinyal berupa rangkaian penguat *non-inverting* atau penguat tak membalik.

Sinyal yang dihasilkan oleh rangkaian sensor suara masih harus ditapis untuk menentukan ritme gerakan tari robot. Pada sistem yang dirancang digunakan dua buah *filter*. *Filter* pertama berupa *bandpass filter* untuk membedakan suara musik gambang dengan suara musik yang lainnya, atau dengan kata lain meloloskan suara musik gambang dan meredam suara musik yang lain. Sinyal keluaran dari *bandpass filter* dikonversi oleh ADC mikrokontroler untuk menentukan ritme gerakan tari robot yang ditampilkan pada indikator LED melalui *Port Output* mikrokontroler. *Filter* kedua berupa *lowpass filter* untuk meloloskan suara musik pengiring secara keseluruhan, karena fungsi dari *filter* ini adalah untuk membedakan keadaan ketika ada atau tidak ada suara musik ketika perlombaan. Pada saat suara musik ditiadakan maka robot penari juga harus berhenti menari. Sinyal keluaran dari *lowpass filter* juga akan dikonversi oleh mikrokontroler untuk menentukan robot harus diam atau menari yang ditampilkan pada LED sebagai indikator gerakan tari. Sinyal keluaran dari kedua *filter* yang digunakan dapat ditampilkan pada komputer secara digital menggunakan *peripheral* komunikasi data serial USART oleh mikrokontroler.

#### 4.3.1 Perancangan Rangkaian Sensor Suara

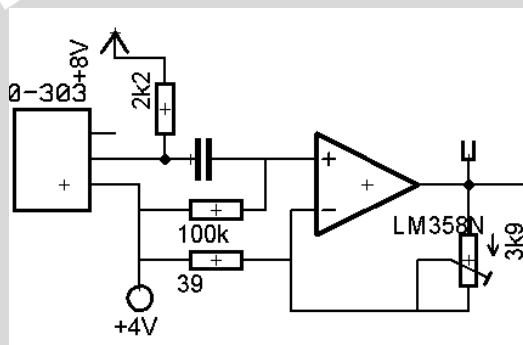
Sensor suara yang digunakan adalah *electret microphone condenser* dengan keluaran dari rangkaian ini dijadikan sebagai sinyal masukan *filter*. Dengan mengacu pada *datasheet microphone electret condenser* maka digunakan  $R_L$  sebesar 2,2 k $\Omega$  dan frekuensi minimal yang stabil dari *microphone electret condenser* yang dipakai bernilai diatas 50 Hz dengan dengan catu daya sebesar 4 Volt. Nilai sinyal keluaran dari *microphone* ketika terkena gelombang suara masih sangat kecil yaitu dalam orde *millivolt* (mV), sehingga dibutuhkan rangkaian penguat untuk memperbesar nilai sinyal keluaran dari sensor untuk membuat mikrokontroler dapat melakukan pemrosesan sinyal dengan

baik. Rangkaian penguat yang digunakan adalah berupa rangkaian penguat *non-inverting* seperti terlihat pada Gambar 4.4 dengan nilai penguatan sebesar 101 kali.

Untuk mendapatkan rangkaian penguat *non-inverting* dengan penguatan atau *Gain* sebesar 101 kali. Maka dari itu, dibutuhkan nilai resistansi untuk nilai penguatan ( $G$ ) tersebut, yaitu dengan nilai  $R_1 = 3,9 \text{ k}\Omega$  dan  $R_2 = 39 \text{ }\Omega$  dapat dicari seperti berikut:

$$\begin{aligned} G &= \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \\ &= 1 + \frac{3900}{39} \\ &= 1 + 100 \\ &= 101 \text{ kali} \end{aligned}$$

Dengan demikian diperoleh rangkaian sensor suara seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Rangkaian sensor suara.

#### 4.3.2 Perancangan Rangkaian *Filter*

*Filter* yang dirancang terdiri dari dua buah *filter*. *Filter* yang pertama berupa *bandpass filter 4th order* dirancang untuk membedakan antara suara musik gambang dengan suara musik lainnya. Frekuensi *cut off* untuk *filter* pertama disesuaikan dengan *filter* yang digunakan pada perancangan desain gerakan tari yaitu antara 4200 Hz dan 5400 Hz. Frekuensi *cut off* pada suatu *filter* merupakan suatu frekuensi pada saat penguatan tegangannya *drop* atau turun menjadi 0,707 atau  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  kali dari penguatan *passband*-nya.

Untuk membuat *bandpass filter 4th order* agar bisa meloloskan frekuensi pada *cut off* atas  $f_H = 5400 \text{ Hz}$  dan *cut off* bawah  $f_L = 4200 \text{ Hz}$ , sehingga bisa didapatkan frekuensi tengah  $f_o$  adalah

$$f_o = \frac{f_H - f_L}{2}$$

$$= \frac{5400 - 4200}{2}$$

$$= 1800 \text{ Hz}$$

Sehingga dapat dicari nilai  $Q$  dari *filter* yaitu menggunakan Persamaan (2-6) sebagai berikut

$$Q = \frac{\omega_0}{\omega_H - \omega_L}$$

$$Q = \frac{f_0}{f_H - f_L}$$

$$= \frac{4800}{5400 - 4200}$$

$$= 4$$

Karena digunakan *filter* yang merupakan *filter 4th order*, yaitu dua buah *filter 2nd order* sama yang dikaskadekan maka nilai  $Q$  didapat berdasarkan Persamaan (2-9) adalah

$$Q_{1\text{kutub}} = 0,644 \times Q_{\text{filter}}$$

$$= 0,644 \times 4$$

$$= 2,576$$

Karena masing-masing bagian adalah identik, maka penguatan tegangan masing-masing harus sama, sehingga agar diperoleh penguatan tegangan total 2, masing-masing bagian harus memiliki penguatan adalah

$$G = (2)^{\frac{1}{2}} = 1,41$$

Pada rangkaian pada Gambar 4.8 dengan menggunakan nilai  $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = 10 \text{ nF}$ , maka keenam resistor lainnya dapat dicari yaitu:

$$R_1 = \frac{Q}{GC2\pi f_0}$$

$$= \frac{2,576}{1,41 \times 10 \times 10^{-9} \times 2 \times 3,14 \times 4800}$$

$$= \frac{2,576 \times 10^6}{425,0304}$$

$$= 6060,74 \Omega$$

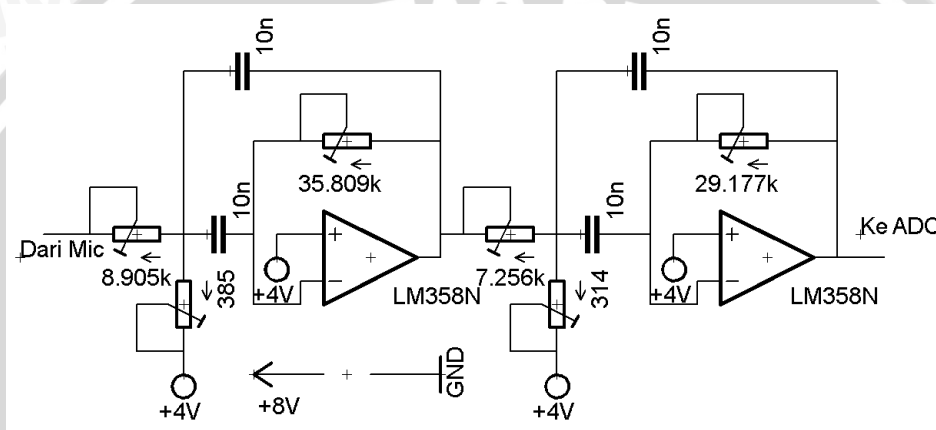
$$R_2 = \frac{Q}{(2Q^2 - G)2\pi f_0}$$

$$= \frac{2,576}{(2(2,576)^2 - 1,41)2 \times 3,14 \times 4800}$$

$$= \frac{2,576 \times 10^6}{357,5462}$$

$$\begin{aligned}
 &= 720,44\Omega \\
 R_3 &= \frac{2Q}{C2\pi f_o} \\
 &= \frac{2 \times 2,576}{10 \times 10^{-9} \times 2 \times 3,14 \times 4800} \\
 &= \frac{5,152 \times 10^6}{301,44} \\
 &= 17091,29 \Omega
 \end{aligned}$$

Sehingga berdasarkan perhitungan diperoleh rangkaian *filter* nilai  $R_1 = R_4 = 6060,74 \Omega$ ,  $R_2 = R_5 = 720,44 \Omega$ , dan  $R_3 = R_6 = 17091,29 \Omega$  seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Rangkaian *Bandpass filter 4th order Multi Feedback Topology*.

*Filter* kedua berupa *lowpass filter 2nd order* digunakan untuk membedakan keadaan antara ada musik dan tidak ada musik, karena pada saat perlombaan akan ada keadaan ketika suara musik dihilangkan sehingga robot juga harus berhenti melakukan gerakan tari. *Filter* kedua menggunakan frekuensi *cut off* pada 6000 Hz sebagai penentu ada atau tidak ada musik. Untuk membuat *lowpass filter* orde 2 dengan frekuensi yang dilewatkan dibawah 6000 Hz dengan nilai  $C1 = C2 = 10 \text{ nF}$  dan  $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$ , maka nilai  $R_2$  dapat ditentukan menggunakan Persamaan (2-2), yaitu:

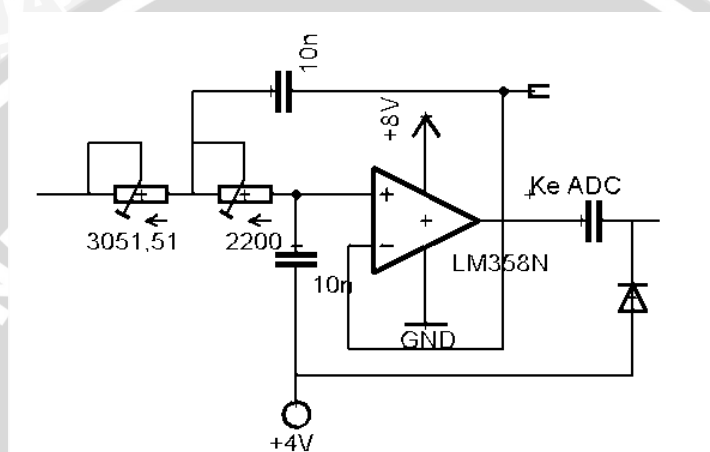
$$\begin{aligned}
 f_c &= \frac{1}{2\pi(R_1 R_2 C^2)^{\frac{1}{2}}} \\
 6000 &= \frac{1}{2 \times 3,14 (2200 \times R_2 \times (10 \times 10^{-9})^2)^{\frac{1}{2}}} \\
 (2200 R_2)^{\frac{1}{2}} &= \frac{1}{6,28 (2200 \times 10 \times 10^{-9})}
 \end{aligned}$$

$$2200 R_2 = \left( \frac{1}{6,28 \times 10 \times 10^{-9}} \right)^2$$

$$R_2 = \frac{10^{10}}{1419,7824 \times 2200}$$

$$R_2 = 3201,51 \Omega$$

Dengan demikian, untuk mendapatkan sebuah *lowpass filter* dengan frekuensi *cut off* 6000 Hz digunakan  $R_2$  sebesar 3201,51  $\Omega$ . Rangkaian *filter* kedua keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Rangkaian *lowpass filter 2nd order Sallen-Key Topology*.

#### 4.3.3 Perancangan Antarmuka Mikrokontroler dengan perangkat lain

Mikrokontroler memiliki tugas sebagai pengontrol utama. *Pin-pin* mikrokontroler ini dihubungkan langsung pada jalur sinyal pada perangkat-perangkat lain seperti LED, rangkaian *filter*, dan komputer. *Pin* antarmuka dengan rangkaian *filter* digunakan sebagai input untuk sinyal analog yang kemudian akan diubah ke sinyal digital. *Pinoutput* LED digunakan sebagai indikator ritme dari gerakan tari. *Pin* terakhir yang digunakan adalah *pin* antarmuka dengan komputer, yaitu *pin* yang digunakan untuk komunikasi data dengan komputer menggunakan USB to TTL. *Pin-pin* yang digunakan dalam perancangan rangkaian mikrokontroler adalah sebagai berikut:

PC4 sebagai *Input* ADC

PC5 sebagai *Input* ADC

PC6 sebagai indikator waktu gerakan tari

PC7 sebagai Indikator ritme gerakan cepat

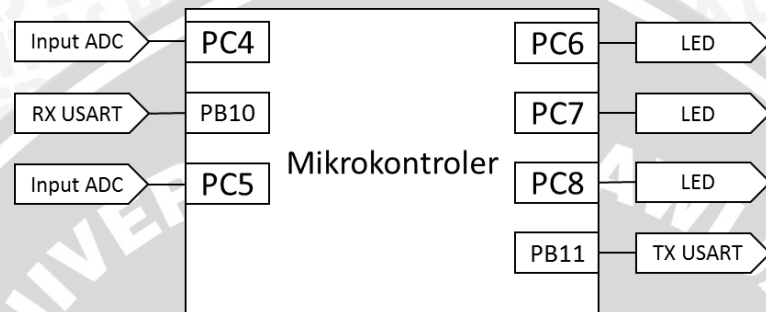
PC8 sebagai Indikator ada atau tidak ada suara musik

PB10 sebagai Tx USART



PB11 sebagai Rx USART

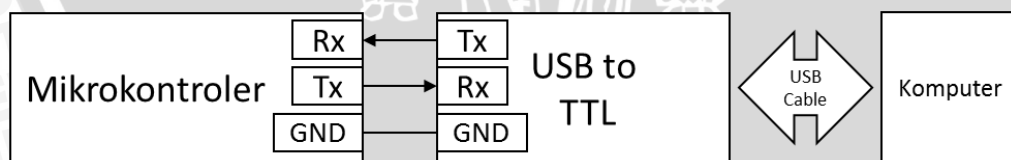
Untuk komunikasi dengan komputer USART yang digunakan adalah USART3 padan PB10 sebagai *Transmitter* Tx dan PB11 sebagai *Receiver* Rx. Pada pembacaan sinyal analog, ADC yang digunakan adalah ADC1 *Channel 14* pada PC4 dan ADC2 *Channel 15* dengan resolusi data 12 bit. Untuk indikator LED pada modul mikrokontroler yang digunakan adalah PC6 – PC8 yang difungsikan sebagai *pin output*. Gambar konfigurasi *pin* antarmuka mikrokontroler ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Rangkaian Antarmuka mikrokontroler dengan perangkat lain.

#### 4.3.4 Perancangan USB to TTL

Untuk menampilkan data ke komputer, rangkaian yang digunakan adalah modul USB *to* TTL. Perangkat ini mampu mengubah data dengan protokol USB ke USART maupun sebaliknya. USB memiliki empat *pin* koneksi, yaitu VCC, D-, D+, dan GND. Untuk bisa berhubungan dengan mikrokontroler, data harus diubah menjadi *transmitter/receiver*. Dalam perancangan ini, jalur yang digunakan pada USART hanya *transmitter* dari mikrokontroler saja. Diagram koneksi USB *to* TTL dapat dilihat pada Gambar 4.8.

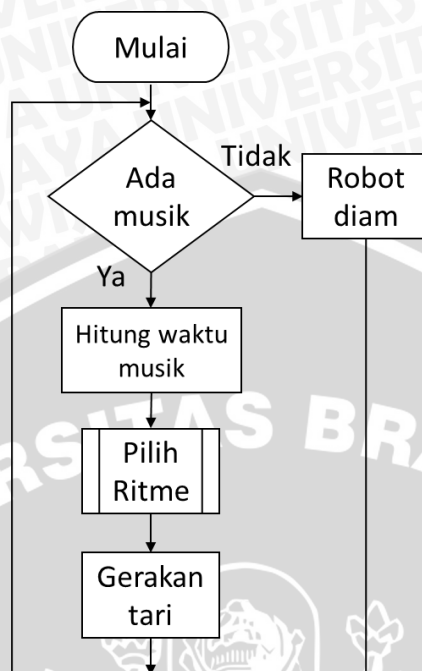


Gambar 4.8 Skema koneksi USB to TTL.

#### 4.4 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dilakukan terlebih dahulu dengan pembuatan *flowchart* yang menjelaskan pengambilan data dari sensor musik, pengolahan data, bagaimana sistem mengenali keadaan yang diberikan dan pengendalian sistem secara

keseluruhan, kemudian dibuat program berdasarkan algoritma dari *flowchart* yang telah dirancang. Algoritma program utama ditunjukkan dalam Gambar 4.9.



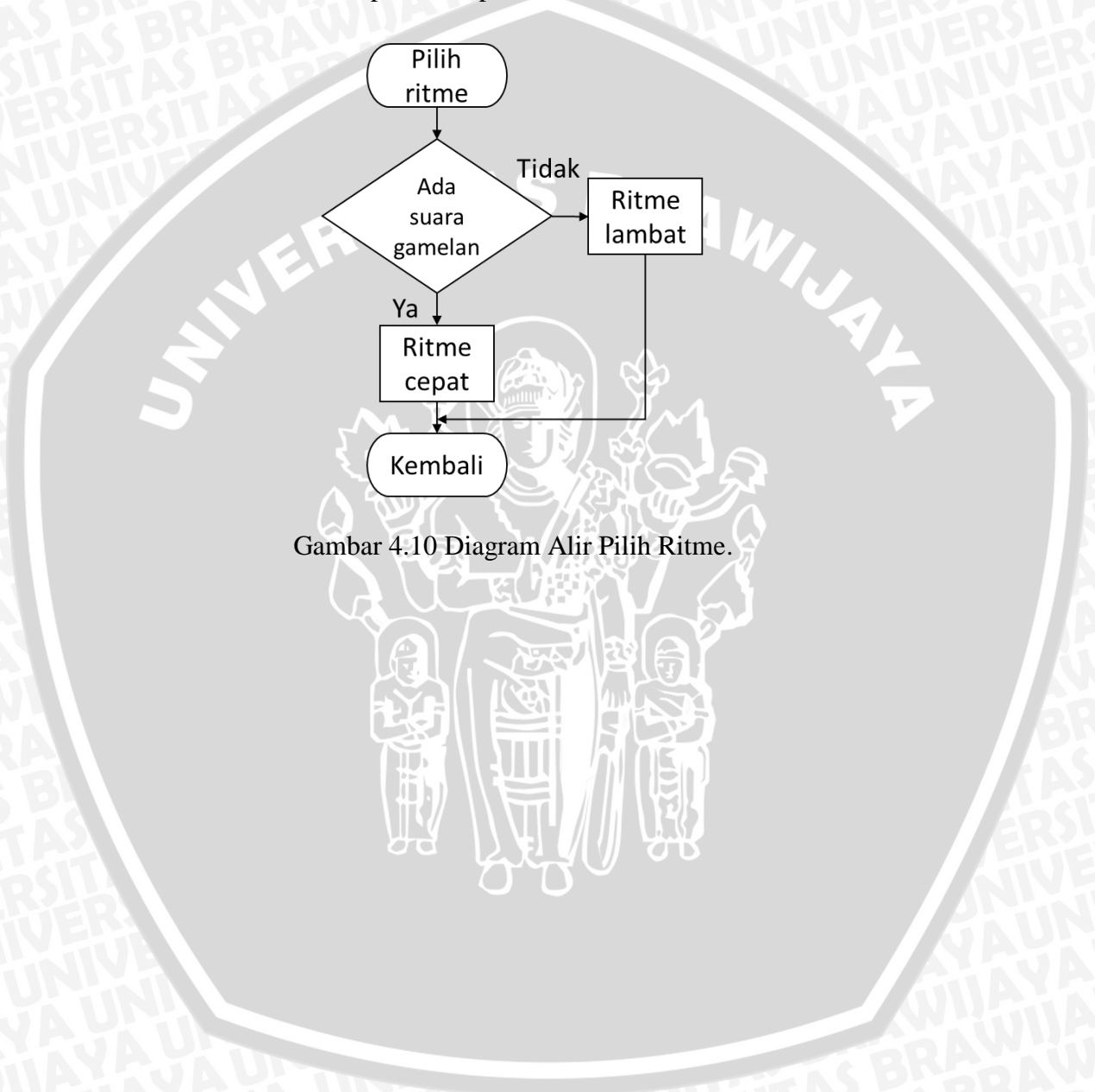
Gambar 4.9 Diagram Alir Program Utama.

Secara keseluruhan sistem mendeteksi adanya suara musik sebagai awal pergerakan tari robot dan awal perhitungan waktu musik pengiring, jadi selama suara musik belum ada maka robot akan tetap diam. Ketika suara musik pertama kali terdeteksi maka robot akan mulai menari dan penghitung waktu juga berjalan. Tarian robot masih bisa berhenti kembali ketika suara musik tidak terdeteksi, tetapi untuk penghitung waktu musik akan terus berjalan dan tidak akan berhenti, karena pewaktu tersebut digunakan untuk menentukan jenis gerakan tari yang dilakukan.

Sebelum melakukan gerakan tari, sistem terlebih dahulu harus menentukan ritme untuk gerakantari robot. Ritme gerakan yang ada adalah ritme gerakan cepat dan ritme gerakan lambat. Setelah robot melakukan gerakan tari dengan ritme yang dideteksi, sistem akan kembali mengecek keadaan ada atau tidak ada suara musik hingga menentukan ritme gerakan dan melakukan gerakan kembali. Perintah tersebut akan terus menerus diulang hingga suara musik tidak terdengar lagi atau dengan kata lain waktu musik sudah habis. Untuk algoritma menentukan ritme gerakan tari ditunjukkan seperti pada Gambar 4.10.

Ritme yang dipilih adalah ritme yang berasal dari sinyal suara gambang dan kemudian diubah kedalam bentuk data digital. Ketika ada suara gambang maka sistem

akan menentukan kondisi ritme gerakan cepat sedangkan ketika suara gambang tidak ada maka sistem akan menentukan kondisinya adalah kondisi ritme gerakan lambat. Untuk menentukan ada atau tidak ada suara gambang, pada sistem juga digunakan algoritma membaca sinyal per rentang waktu. Hal tersebut dilakukan untuk menghindari kemunculan sinyal yang hanya sesaat saja, karena ritme gerakan cepat robot yang hanya sesaat tidak akan terlalu terlihat pada saat pelombaan.



Gambar 4.10 Diagram Alir Pilih Ritme.

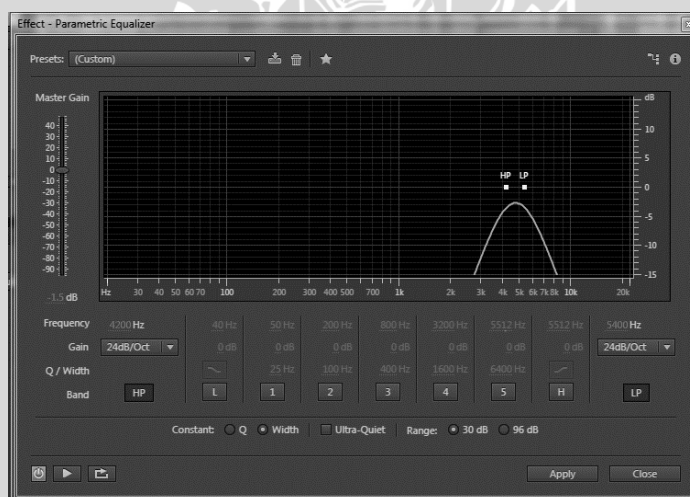
## BAB V

### PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dan analisis dibagi menjadi enam, antara lain analisis hasil pengambilan data musik dan perancangan desain ritme gerakan, pengujian rangkaian sensor suara, pengujian rangkaian *filter*, pengujian ADC mikrokontroler, pengujian USB to TTL. Setiap pengujian tersebut dilakukan untuk menunjang pengujian keseluruhan sistem. Hal ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui kesesuaian antara sistem yang dirancang dengan sistem yang dibuat.

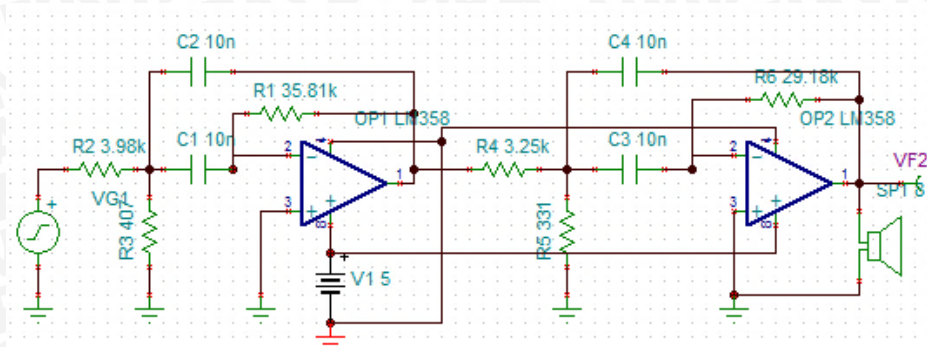
#### 5.1 Analisis Data Hasil Simulasi Pem-filter-an Musik

Data musik yang diambil digunakan untuk menentukan parameter perancangan hardware. Parameter yang dibutuhkan berupa frekuensi suara musik gambang dan frekuensi musik keseluruhan. Berikut hasil pengambilan frekuensi menggunakan *parametric equalizer* yang ditunjukkan pada Gambar 5.1.



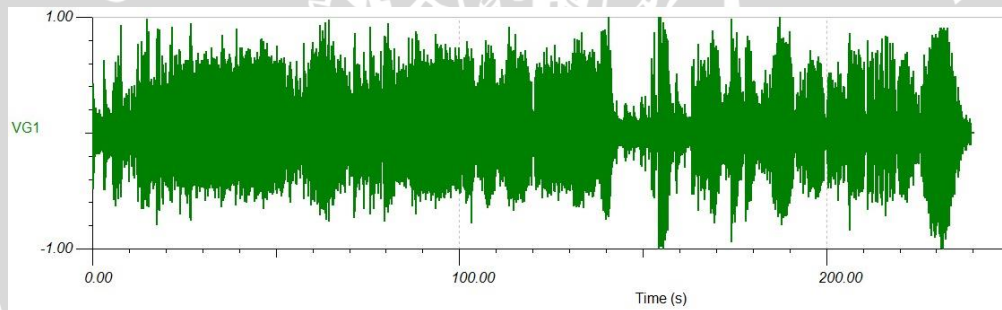
Gambar 5.1 Pengambilan data frekuensi suara gambang.

*Range* frekuensi yang didapat berdasarkan Gambar 5.1 adalah antara 4200 Hz - 5400 Hz untuk suara musik gambang dan 20 Hz – 6000 Hz untuk suara musik keseluruhan. *Range* frekuensi suara musik gambang yang didapat tersebut kemudian digunakan sebagai frekuensi *cut off filter* pada simulasi menggunakan perangkat lunak Tina-TI. Rangkaian *filter* yang disimulasikan ditunjukkan seperti pada Gambar 5.2.



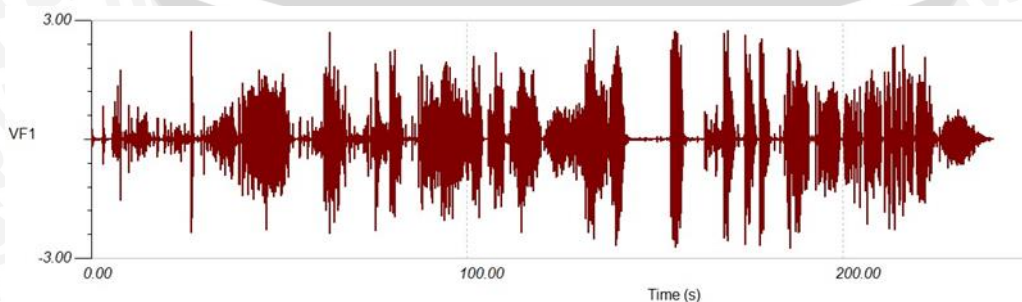
Gambar 5.2 Perancangan simulasi filter dengan Tina-TI.

Sinyal masukan yang digunakan pada filter Gambar 5.2 adalah sinyal suara dari musik pengiring yang dimasukkan pada *function generator* pada simulasi filter. Sinyal suara yang digunakan cuma bisa dimasukkan dalam format “wav” saja, sehingga format musik pengiring yang sebelumnya berformat *mp3* harus dirubah terlebih dahulu. Berikut adalah sinyal suara musik yang sudah dimasukkan pada *function generator* seperti terlihat pada Gambar 5.3.



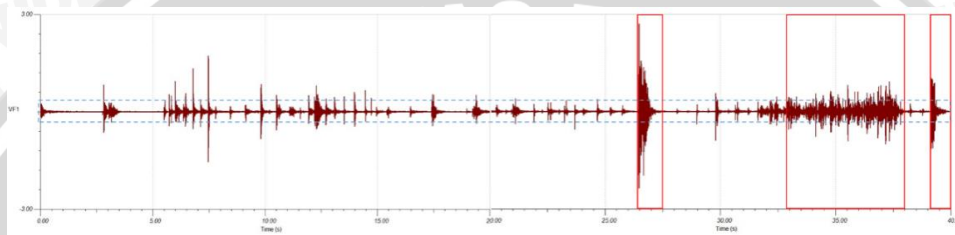
Gambar 5.3 Sinyal musik *legong keraton* sebelum ditapis pada simulasi.

Setelah sinyal masukan filter dimasukkan maka sinyal keluaran juga filter bisa dilihat hasilnya. Hasil yang didapatkan adalah sinyal musik gambang saja seperti terlihat pada Gambar 5.4. Untuk mengetahui musik yang disaring benar-benar musik gambang, maka pada simulasi dipasang *output speaker* untuk mendengar suara yang sudah disaring maupun sinyal masukan sebelum disaring.

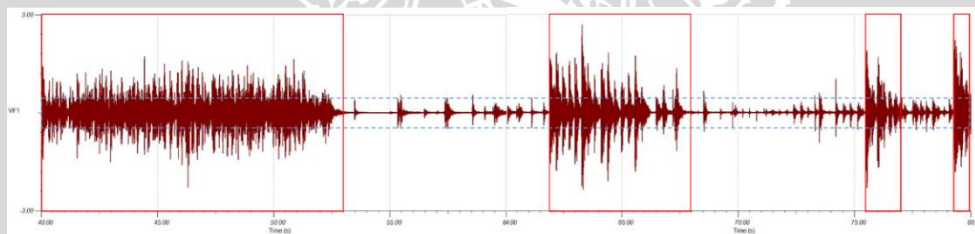


Gambar 5.3 Sinyal musik *legong keraton* sesudah ditapis pada simulasi.

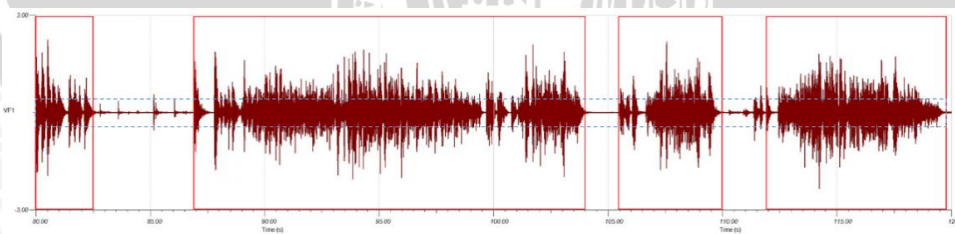
Hasil yang didapat setelah simulasi adalah suara gambang yang memiliki amplitudo paling tinggi dibandingkan suara yang lainnya. Berdasarkan nilai amplitudo dan perubahan rentang waktu kemunculannya yang didapat dari simulasi, maka dapat dibuat desain ritme gerakan yang ditunjukkan dengan kotak warna merah adalah waktu ritme cepat sedangkan bagian diluar kotak warna merah adalah ritma lambat. Untuk penentuan batas ambang amplitudo ditunjukkan oleh kotak dengan garis putus-putus. Keseluruhan desain ritme gerakan ditunjukkan pada Gambar 5.5 sampai dengan Gambar 5.10. Pembagian waktu desain ritme cepat secara keseluruhan berdasarkan Gambar 5.5 sampai dengan Gambar 5.10 ditunjukkan pada Tabel 5.1.



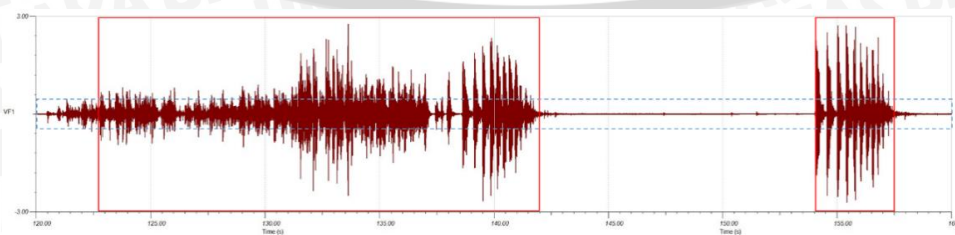
Gambar 5.4 Sinyal Suara Musik Gambang pada interval waktu 0 - 40 detik.



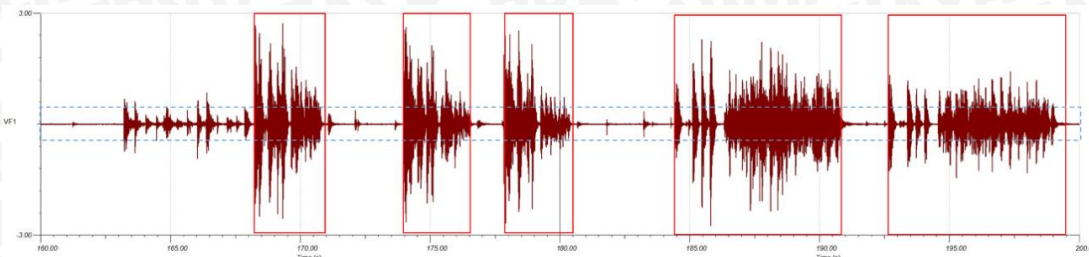
Gambar 5.5 Sinyal Suara Musik Gambang pada interval waktu 40 - 80 detik.



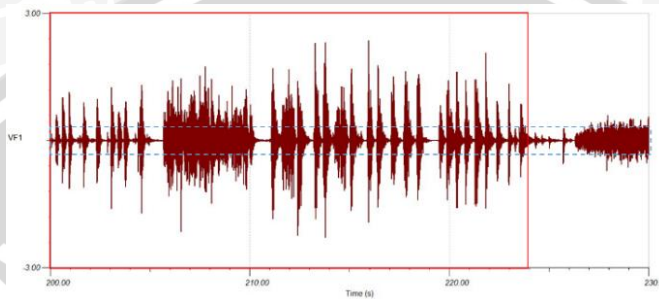
Gambar 5.6 Sinyal Suara Musik Gambang pada interval waktu 80 - 120 detik.



Gambar 5.7 Sinyal Suara Musik Gambang pada interval waktu 120 - 160 detik.



Gambar 5.8 Sinyal Suara Musik Gambang pada interval waktu 160 - 200 detik.



Gambar 5.9 Sinyal Suara Musik Gambang pada interval waktu 200 - 230 detik.

Tabel 5.1 Hasil pembagian waktu desain ritme gerakan tari cepat

No.	Waktu (detik)
1	26.5 – 27.5
2	36.5 – 38
3	39 – 52.5
4	62 – 67.5
5	75.5 – 76.5
6	79.5 – 82.5
7	87 – 100
8	101.5 – 104
9	105.5 – 109.5
10	112.5 – 119
11	123 – 137.5
12	149 -142
13	154 – 157.5
14	168.5 – 171
15	174 – 176.5
16	178 – 180.5
17	184.5 – 191
18	192.5 – 199.5
19	201 – 225

Pada pembagian waktu gerakan berdasarkan nama tarian robot, sebelumnya harus ditentukan terlebih dahulu waktu untuk gerakan jalan robot. Gerakan jalan robot ditentukan diawal karena robot memiliki waktu sendiri untuk jalan dari zona awal sampai dengan zona tutup. Berikut adalah pembagian waktu tarian robot berdasarkan jenis tarian yang ditunjukkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil penentuan waktu jenis gerakan tari

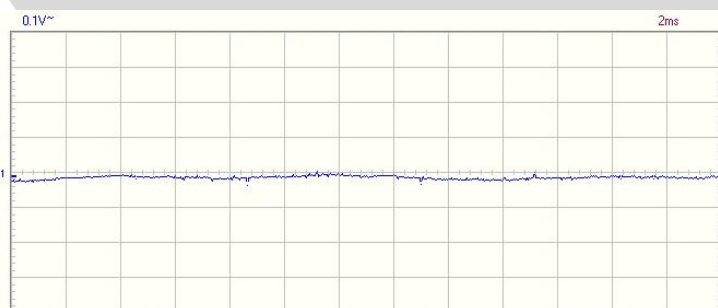
Jenis Gerakan Tari	Waktu (detik)
Sembah pembuka	0 - 17
Jalan	17 - 24
Pepeson atau condong	26 - 41
Jalan	41 - 61
Pengawak dan pengecet	82 - 137
Jalan	137 - 184
Gerak pakaad	184 - 199
Jalan	210 - 226
Sembah penutup	226 - 239

## 5.2 Pengujian Rangkaian Sensor

Pengujian sensor suara dilakukan dengan memberikan suara dan tidak memberikan suara. Skema pengujian ditunjukkan seperti pada Gambar 5.11. Hasil pengujian dapat diketahui melalui *oscilloscope*. Dalam Gambar 5.12 dan Gambar 5.13 ditunjukkan perbedaan hasil pengujian untuk keadaan tanpa suara dan ada suara melalui *oscilloscope* PC LAB.

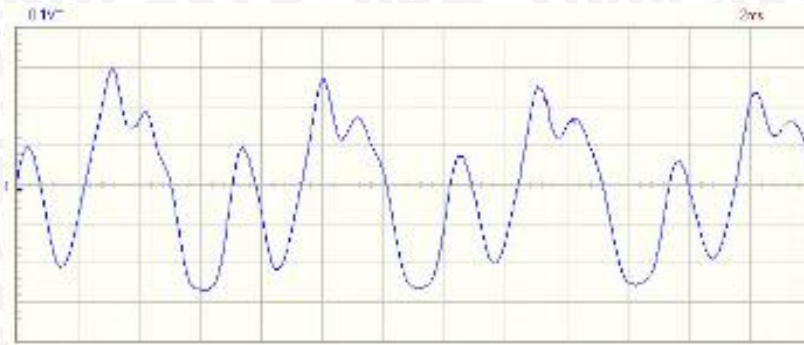


Gambar 5.10 Skema Pengujian sensor suara.



Gambar 5.11 Hasil pengujian sensor suara ketika tidak diberikan suara.



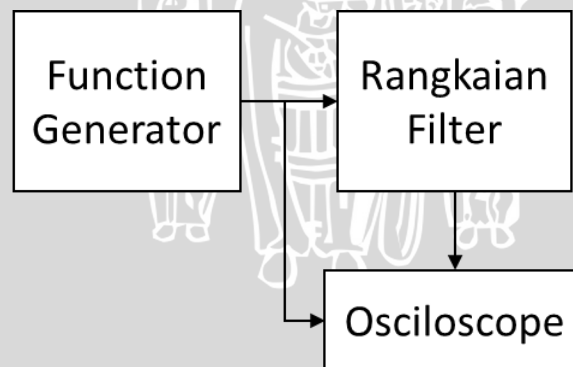


Gambar 5.12 Hasil pengujian sensor suara ketika diberikan suara.

Berdasarkan hasil pengujian, sensor suara dapat menghasilkan sinyal listrik berdasarkan gelombang suara yang ditangkapnya meskipun dengan keluaran dalam orde mili volt, sehingga dibutuhkan rangkaian untuk menguatkan sinyal keluaran dari sensor untuk mempermudah pembacaan menggunakan ADC yang memiliki *range* tegangan masukan 0V sampai dengan 3V.

### 5.3 Pengujian Rangkaian *Filter*

Pengujian rangkaian *filter* dilakukan dengan memberikan *input* tegangan sinusoida dengan frekuensi 0 – 12 kHz menggunakan *function generator*. Hasil keluaran *filter* dilihat pada *oscilloscope* dan dicatat nilai tegangannya. Skema pengujian rangkaian *filter* ditunjukkan seperti pada Gambar 5.14.



Gambar 5.13 Skema Pengujian *filter*.

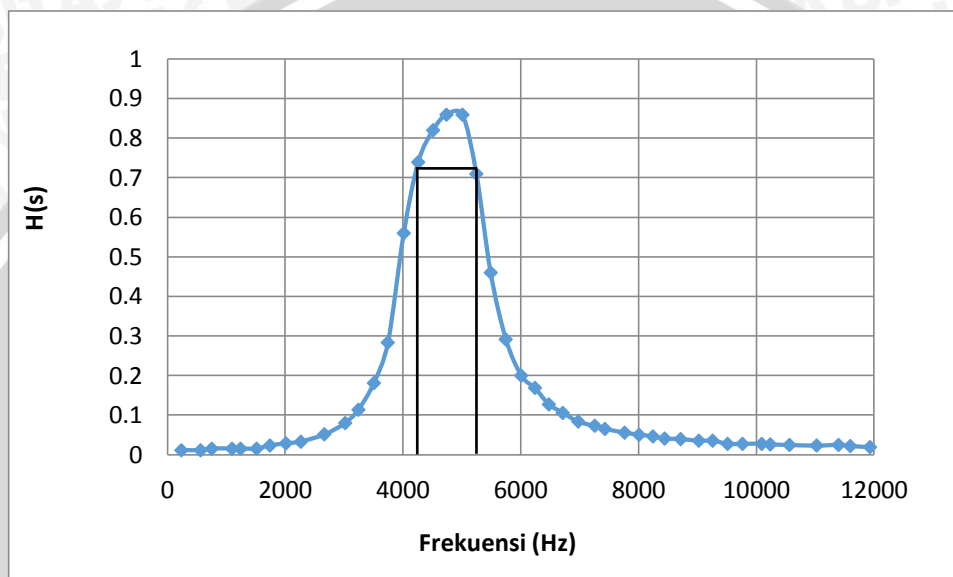
Hasil pengujian untuk *bandpass filter* ditunjukkan pada Tabel 5.3 yang menunjukkan daerah *cut off* pada frekuensi 4263 Hz dan 5249 Hz. Pada perancangan digunakan *filter* dengan penguatan 2 kali dengan tegangan masukan 1 Volt. Sehingga, untuk menentukan perbandingan nilai keluaran dan masukan, tegangan keluaran harus dibagi 2 terlebih dahulu.

Tabel 5.3 Hasil pengujian *bandpass filter*

Frekuensi (Hz)	Tegangan terukur (volt)	H(s) perhitungan( $V_o/V_i$ )
237	0.024	0.012
561	0.024	0.012
751	0.032	0.016
1101	0.032	0.016
1248	0.032	0.016
1515	0.032	0.016
1742	0.048	0.024
2018	0.058	0.029
2266	0.0672	0.0336
2668	0.103	0.0515
3016	0.16	0.08
3243	0.228	0.114
3510	0.364	0.182
3748	0.568	0.284
4016	1.12	0.56
4263	1.48	0.74
4513	1.64	0.82
4744	1.72	0.86
5010	1.72	0.86
5249	1.42	0.71
5491	0.92	0.46
5750	0.584	0.292
6013	0.4	0.2
6242	0.338	0.169
6477	0.256	0.128
6720	0.212	0.106
6974	0.168	0.084
7257	0.146	0.073
7427	0.132	0.066
7764	0.112	0.056
8015	0.102	0.051
8244	0.0936	0.0468
8446	0.082	0.041
8717	0.08	0.04
9029	0.0708	0.0354
9259	0.072	0.036
9515	0.0556	0.0278
9770	0.0552	0.0276
10090	0.0568	0.0284
10240	0.0529	0.02645
10570	0.0496	0.0248
11030	0.0464	0.0232
11400	0.0504	0.0252

11600	0.0448	0.0224
11930	0.0384	0.0192

Dari hasil pengujian ditunjukkan bahwa *filter* yang dibuat telah sesuai dengan yang dirancang. Frekuensi *cut off* filter berdasarkan perbandingan tegangan keluaran dan masukan ( $H(s)$ ) sudah mendekati nilai  $H(s)$  secara teori yaitu 0.707 pada 4263 Hz dan 5249 Hz sebesar 0,74 dan 0,71. Grafik hasil pengujian dari keluaran *bandpass filter* ditunjukkan seperti pada Gambar 5.15.



Gambar 5.14 Grafik hasil pengujian *bandpass filter*.

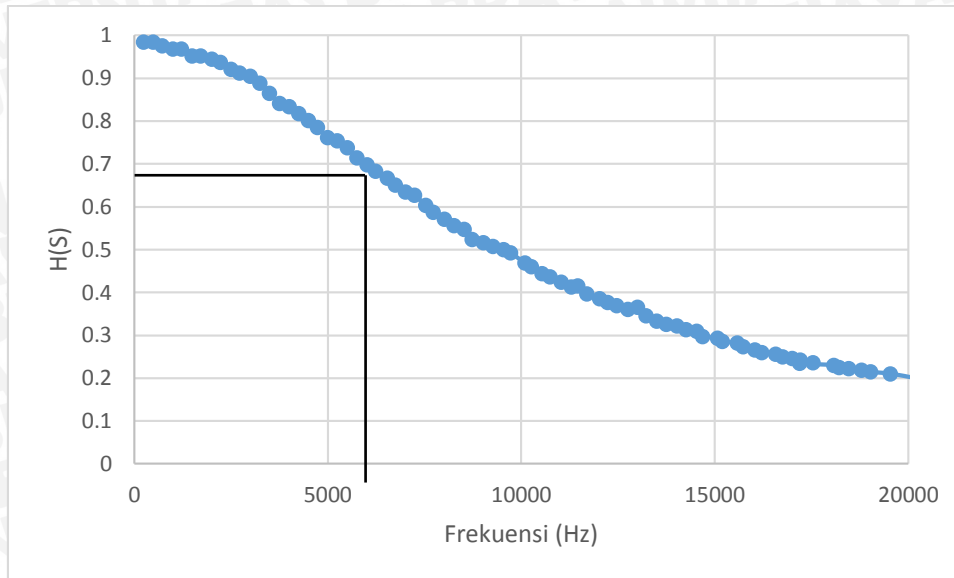
Pengujian *filter* kedua yaitu *lowpass filter* ditunjukkan pada Tabel 5.4 yang menunjukkan daerah *cut off* pada frekuensi 5760 Hz dengan diberikan tegangan masukan sebesar 5,03 Volt. Sehingga, untuk menentukan perbandingan nilai keluaran dan masukan, tegangan keluaran harus dibagi 5,03 terlebih dahulu.

Tabel 5.4 Hasil pengujian *lowpass filter*

Frekuensi (Hz)	Tegangan terukur (Volt)	$H(s)$ ( $V_o/V_i$ )
254.5	4.96	0.912
503	4.96	0.912
726.7	4.92	0.912
1006	4.88	0.912
1227	4.88	0.904
1504	4.8	0.888
1729	4.8	0.872
2008	4.76	0.864

2227	4.72	0.848
2505	4.64	0.832
2729	4.6	0.816
3008	4.56	0.8
3255	4.48	0.792
3505	4.36	0.776
3759	4.24	0.768
4013	4.2	0.752
4255	4.12	0.744
4505	4.04	0.736
4748	3.96	0.728
5010	3.84	0.72
5247	3.8	0.712
5517	3.72	0.704
5760	3.6	0.696
6024	3.52	0.68
6250	3.44	0.68
6553	3.36	0.672
6757	3.28	0.672
7022	3.2	0.672
7245	3.16	0.664
7541	3.04	0.664
7740	2.96	0.656
8026	2.88	0.656
8275	2.8	0.648
8532	2.76	0.648
8741	2.64	0.648
9025	2.6	0.638
9276	2.56	0.632
9560	2.52	0.632
9737	2.48	0.632
10100	2.36	0.624
10270	2.32	0.624
10540	2.24	0.624
10750	2.2	0.624
11040	2.14	0.616
11300	2.08	0.616
11470	2.09	0.616
11710	2	0.616
12030	1.94	0.616

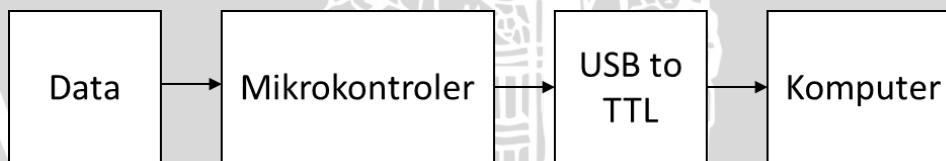
Dari hasil pengujian ditunjukkan bahwa *filter* kedua juga telah sesuai dengan perancangan. Frekuensi *cut off filter* berdasarkan perbandingan tegangan keluaran dan masukan ( $H(s)$ ) sudah mendekati nilai  $H(s)$  teori yaitu 0.707 pada 6024 Hz sebesar 0.698. Grafik hasil pengujian dari keluaran *lowpass filter* ditunjukkan seperti pada Gambar 5.16.



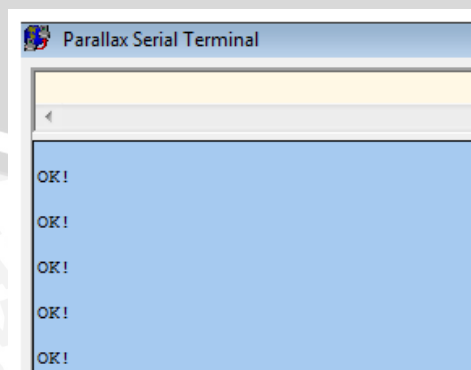
Gambar 5.15 Grafik hasil pengujian *lowpass filter*.

#### 5.4 Pengujian USB to TTL

Pengujian USB to TTL dapat dilakukan dengan memasukkan data tertentu ke dalam sebuah program, kemudian diberikan perintah agar mengirim ke komputer. Gambar 5.17 menunjukkan skema pengujian USB to TTL. Pada program diberikan perintah untuk mengirim data “OK!” dan ditampilkan ke komputer. Data berhasil ditampilkan sesuai dengan yang diinginkan. Hasil pengujian dapat dilihat dalam Gambar 5.18.



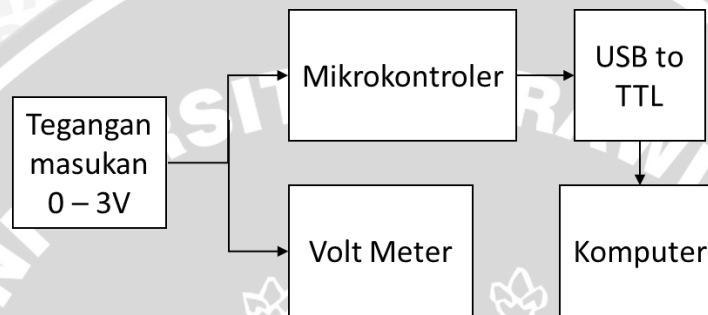
Gambar 5.16 Skema Pengujian USB to TTL.



Gambar 5.17 Hasil Pengujian USB to TTL.

### 5.5 Pengujian ADC Mikrokontroler

Pengujian ini dilakukan untuk mengamati perubahan nilai ADC terhadap tegangan masukan analog. Skema pengujian ADC mikrokontroler ditunjukkan seperti pada Gambar 5.19. Pada pengujian ADC digunakan sumber tegangan masukan DC yang diubah-ubah dari 0V sampai dengan 3V menggunakan variabel resistor yang difungsikan sebagai rangkaian pembagi tegangan. Perubahan tegangan masukan dilakukan secara berurutan dengan perbedaan masing-masing 250 mV yang diamati menggunakan voltmeter SANWA CD731a kemudian dicatat.



Gambar 5.18 Skema Pengujian ADC.

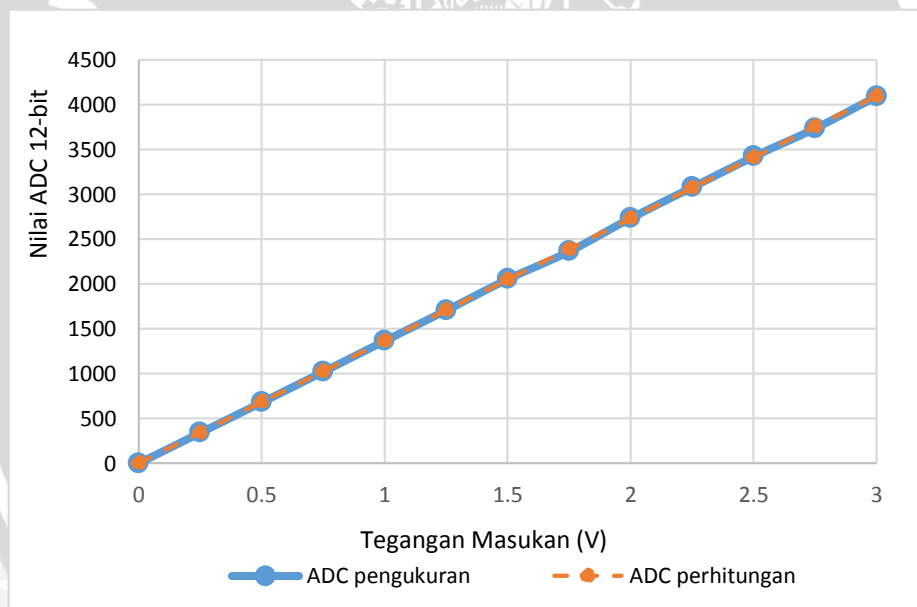
Setiap perubahan tegangan masukan dikonversi oleh ADC mikrokontroler menjadi data digital dan dikirim ke komputer melalui USB to TTL. Setiap perubahan hasil konversi yang ditampilkan dibandingkan dengan tegangan masukan yang diberikan untuk mengetahui fungsi dari ADC sudah benar atau belum. Untuk membuktikan ADC sudah bekerja dengan benar, maka digunakan perbandingan hasil pengukuran nilai keluaran ADC terhadap perhitungan konversi ADC secara teori menggunakan Persamaan (2 - 6). Pengukuran pada setiap nilai  $V_{in}(V)$  dilakukan lima kali pengambilan data yaitu dari  $adc1 - adc5$ . Untuk hasil pengukuran, dapat dilihat dalam Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Data Hasil Pengujian ADC

Vref(V)	Vin(V)	Pengukuran						Perhitungan Adc	Kesalahan (%)
		adc1	adc2	adc3	adc4	adc5	rata2		
3.00	0	0	0	0	0	1	0	0	0.00
	0,25	339	345	338	339	340	340	341	0.03
	0,5	678	682	682	680	678	680	683	0.06
	0,75	1022	1022	1023	1023	1018	1022	1024	0.05
	1	1368	1365	1362	1368	1368	1366	1365	0.03
	1,25	1705	1706	1709	1703	1709	1706	1706	0.00
	1,5	2044	2059	2062	2053	2053	2054	2048	0.16

1,75	2366	2364	2369	2361	2358	2364	2389	0.61
2	2737	2732	2733	2738	2738	2736	2730	0.14
2,25	3076	3074	3083	3078	3084	3079	3071	0.19
2,5	3422	3418	3429	3423	3423	3423	3413	0.26
2,75	3735	3740	3746	3735	3732	3738	3754	0.39
3	4095	4095	4095	4094	4095	4095	4095	0.00
Rata-rata								0.15

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan hasil nilai ADC dengan kesalahan pengukuran 0.15% dibandingkan dengan perhitungan secara teori. Untuk grafik hasil pengukuran ditunjukkan seperti pada Gambar 5.20. Dari grafik pengujian, dapat disimpulkan bahwa ADC berkerja dengan baik, ditandai dengan grafik keluaran yang linear. Nilai ADC yang dikeluarkan sudah sesuai dengan perhitungan yaitu berada dalam rentang antara 0-4095.

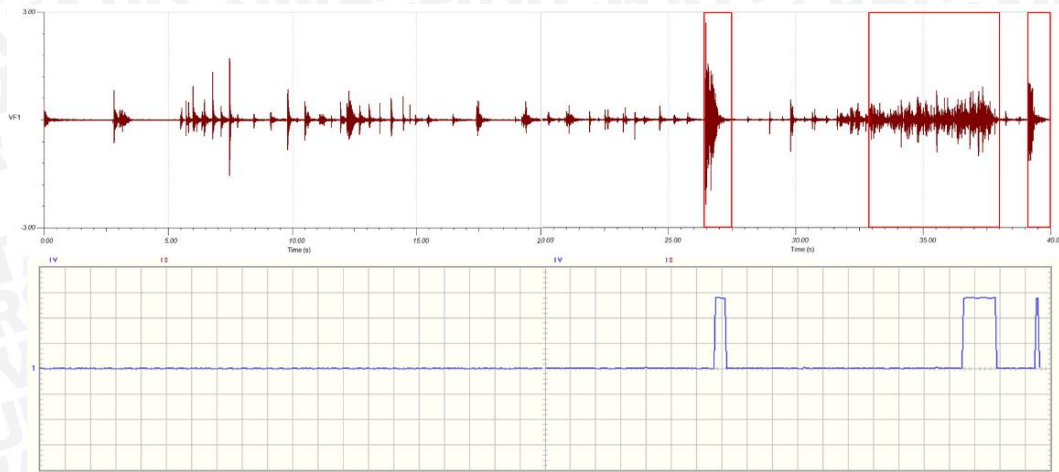


Gambar 5.19 Grafik hasil Pengujian ADC.

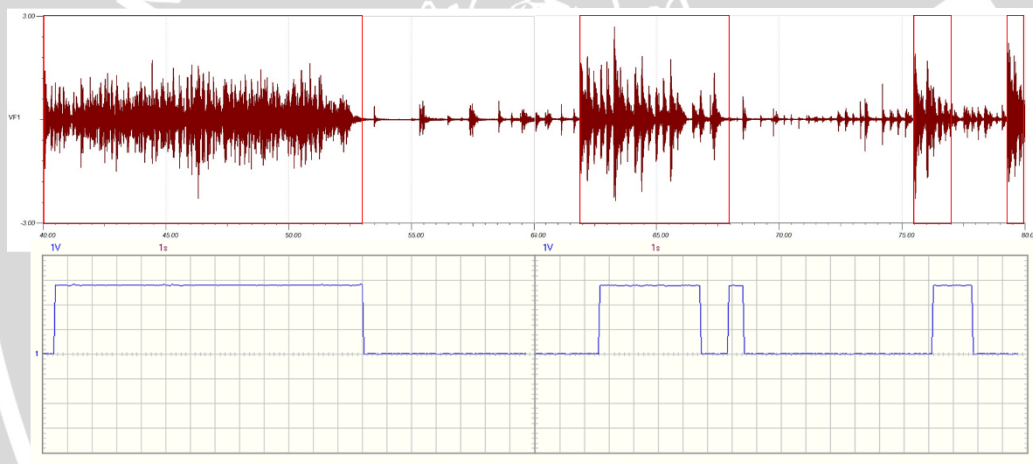
## 5.6 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk membandingkan hasil keluaran sistem dengan desain ritme gerakan yang telah dibuat sebelumnya. Keluaran sistem untuk ritme gerakan adalah berupa logika tinggi untuk ritme gerakan cepat dan logika rendah untuk ritme lambat. Berikut adalah hasil perbandingan ritme gerakan antara desain

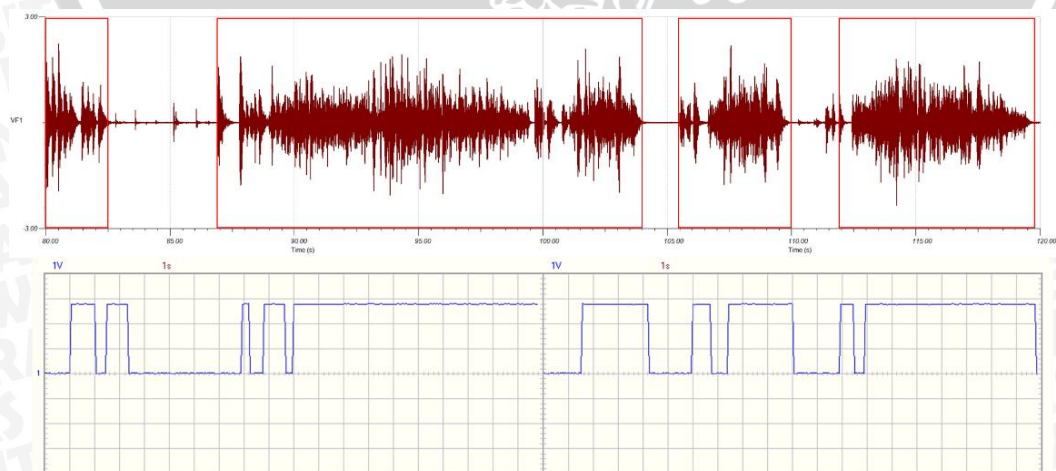
gerakan yang dibuat dengan keluaran sistem yang ditunjukkan seperti pada Gambar 5.21 sampai dengan Gambar 5.26. pada Time/div keluaran sistem sebesar 1 detik.



Gambar 5.20 Sinyal suara musik gambang dan keluaran sistem (0-40 detik).

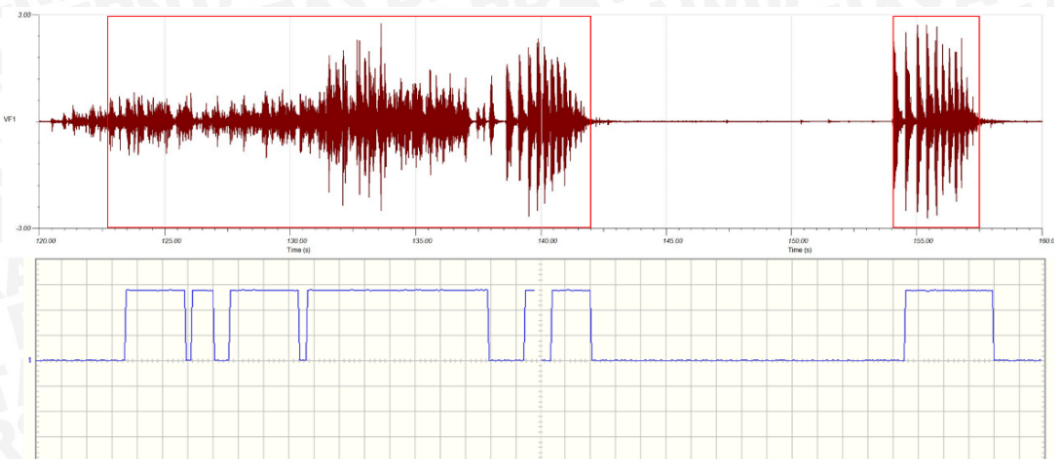


Gambar 5.21 Sinyal suara musik gambang dan keluaran sistem (40-80 detik).

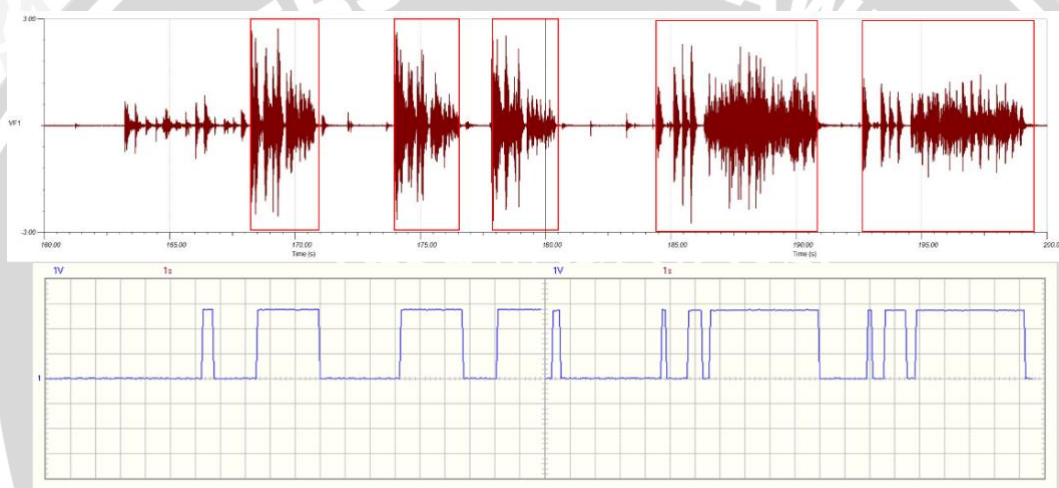


Gambar 5.22 Sinyal suara musik gambang dan keluaran sistem (80-120 detik).

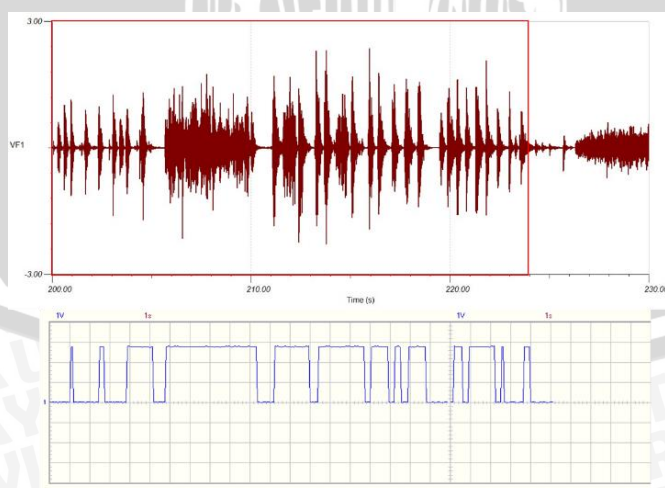




Gambar 5.23 Sinyal suara musik gambang dan keluaran sistem (120-160 detik).



Gambar 5.24 Sinyal suara musik gambang dan keluaran sistem (160-200 detik).



Gambar 5.25 Sinyal suara musik gambang dan keluaran sistem (200-230 detik).

Perbandingan waktu ritme gerakan cepat antara desain ritme gerakan yang dibuat dan keluaran sistem ditunjukkan pada Tabel 5.6. Perbandingan masih dilakukan secara manual dengan pembulatan setiap 0,5 detik. Hasil perbandingan berupa beda waktu ketika logika tinggi keluaran sistem dan waktu ritme cepat desain ritme gerakan (kotak warna merah).

Pada Tabel 5.6 Secara keseluruhan, sistem dapat membedakan musik gambang dengan musik lainnya sebagai parameter ritme gerakan cepat atau lambat menyerupai desain ritme gerakan yang sudah dibuat, meskipun terdapat beberapa perbedaan waktu antara desain ritme yang dirancang dengan keluaran sistem yaitu maksim adalah sebesar  $\pm 2$  detik dan rata-rata 0,809 detik. Pada pengujian keadaan ada atau tidak ada musik sistem bisa membedakan keadaan antara ada dan tidak ada suara musik, seperti ditunjukkan pada Tabel 5.7.

Tabel 5.6 Perbandingan desain ritme gerakan cepat dan hasil keluaran sistem

Desain ritme (detik)	Keluaran sistem (detik)	Beda (detik)
26.5 – 27.5	26.5 – 27.5	0
36.5 - 38	36.5 – 38	0
39 – 52.5	39.5 – 53	1
62 – 67.5	63.5 – 68	2
-	69 – 70	1
76 – 77	77 – 78	2
79.5 – 82.5	81 – 82.5	1.5
87 – 100	88 – 100	1
101.5 – 104	101.5 – 104	0
105.5 – 109.5	106 – 110	1
112.5 - 119	112 – 120	1.5
123 – 137.5	123.5 – 138	1
139 -142	139 – 142	0
154 – 157.5	154.5 – 158	1
-	167 – 168	1
168.5 – 171	169.5 – 171	1
174 – 176.5	174 – 176.5	0
178 – 180.5	178 – 180.5	0
184.5 – 191	184.5 – 191	0
192.5 – 199.5	192.5 – 199.5	0
201 - 225	201 - 223	2
	Rata-rata	0.809

Tabel 5.7 Hasil pegujian keadaan ada suara musik dan tidak ada musik

Keadaan	LED Indikator
Tida ada suara musik	Mati
Ada suara musik	Menyala

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Sistem yang dirancang bisa mengetahui ritme musik dengan cara mengambil suara musik gambang saja pada musik pengiring sebagai parameter acuan dari ritme gerakan tari robot, yaitu dengan menggunakan *bandpass filter*. Dari hasil pengukuran, *bandpass filter* dapat meredam sinyal suara musik selain suara musik gambang pada frekuensi *cut off* 4263Hz dan 5249Hz.
2. Untuk merancang dan membuat gerakan tari robot yang mengikuti irama/ritme musik pengiring, bisa digunakan perangkat lunak simulasi Tina-Ti untuk melihat sinyal musik pengiring dan melakukan simulasi *filter*. Dari sinyal hasil simulasi *filter* dapat dirancang desain ritme gerakan robot yang sesuai dengan ritme musik pengiring. Pada penelitian ini, secara keseluruhan sistem yang dirancang dapat membedakan musik gambang dengan musik lainnya sebagai parameter ritme gerakan cepat atau lambat menyerupai desain gerakan yang sudah dibuat meskipun terdapat perbedaan waktu maksimal adalah  $\pm 2$  detik antara keluaran sistem dan desain ritme gerakan yang dirancang.

#### 6.2 Saran

Beberapa hal yang direkomendasikan untuk pengembangan lebih lanjut adalah.

1. Pada penelitian selanjutnya bisa menambahkan jumlah frekuensi suara musik yang dijadikan sebagai parameter gerakan tari robot seperti suara gendang atau yang lainnya. Ritme yang digunakan tidak hanya tiga keadaan tapi bisa ditambahkan beberapa keadaan lagi.
2. Pemrosesan sinyal dapat menggunakan pemrosesa digital, karena prosesnya lebih mudah dan secara teori tidak ada batasnya.
3. Pada sistem dapat ditambahkan perangkat untuk meredam suara penonton dan *noise* lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Coughlin, Robert F., dan Frederick F. Driscoll. 1982. *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linier*. Jakarta: Erlangga.
- Dikti. 2014. *Kontes Robot Seni Indonesia 2015*. Jakarta: Dikti.
- Putra, Agfianto Eko. 2002. *Penapis Aktif Elektronika Teori dan Praktek*. Yogyakarta: C.V. Gava Media.
- Roddy, Dennis , dan John Coolen. 1984. *Komunikasi Eletronika*. Jakarta: Erlangga.
- Silicon Laboratories. 2013. *SINGLE-CHIP USB TO UART BRIDGE*. Austin: Silicon Laboratories.
- Sophocles, Orfanidis J. 2010. *Introduction to Signal Prcessing*. New Jersey: Rutgers University.
- STMicroelectronics. 2012. *STM32F100x4, STM32F100x6, STM32F100x8, STM32F100xB*. Jenewa: STMicroelectronics.
- . 2011. *UM0919 User Manual*. Jenewa: STMicroelectronics.
- Tanudjaja, Halianto. 2007. *Pengolahan Sinyal Digital & Sistem Pemrosesan Sinyal*. Yogyakarta: Andi.

# LAMPIRAN



## Lampiran I Dokumentasi Alat

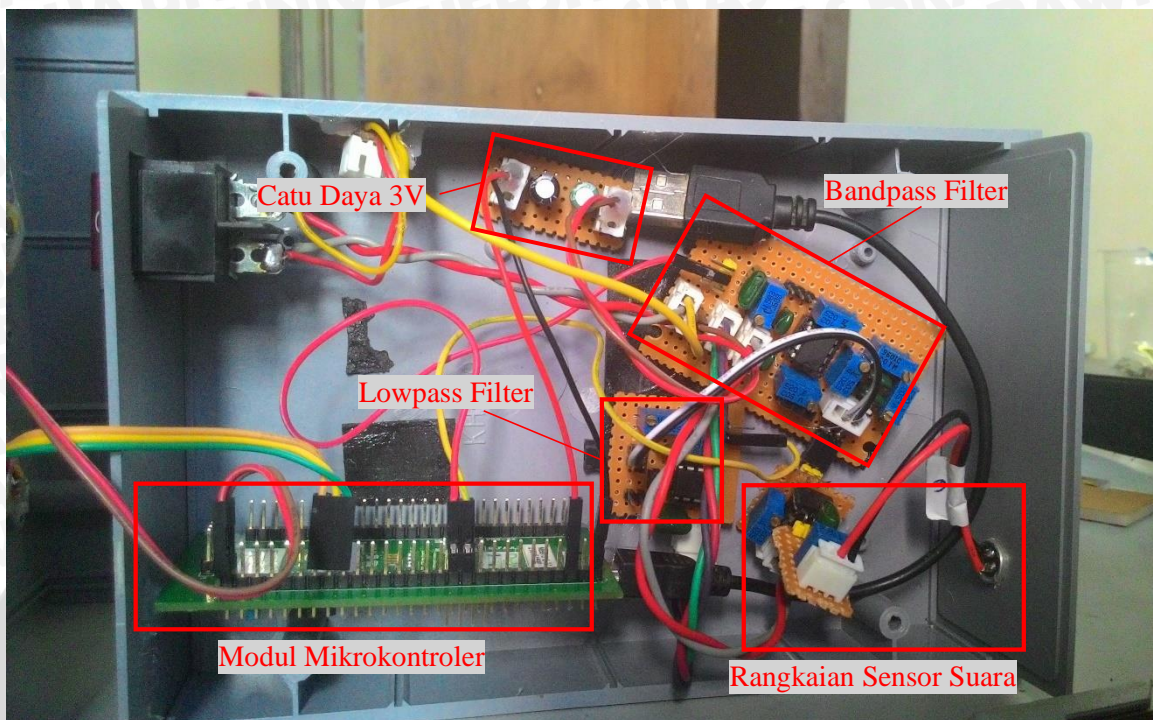


Foto Alat Tampak Dalam

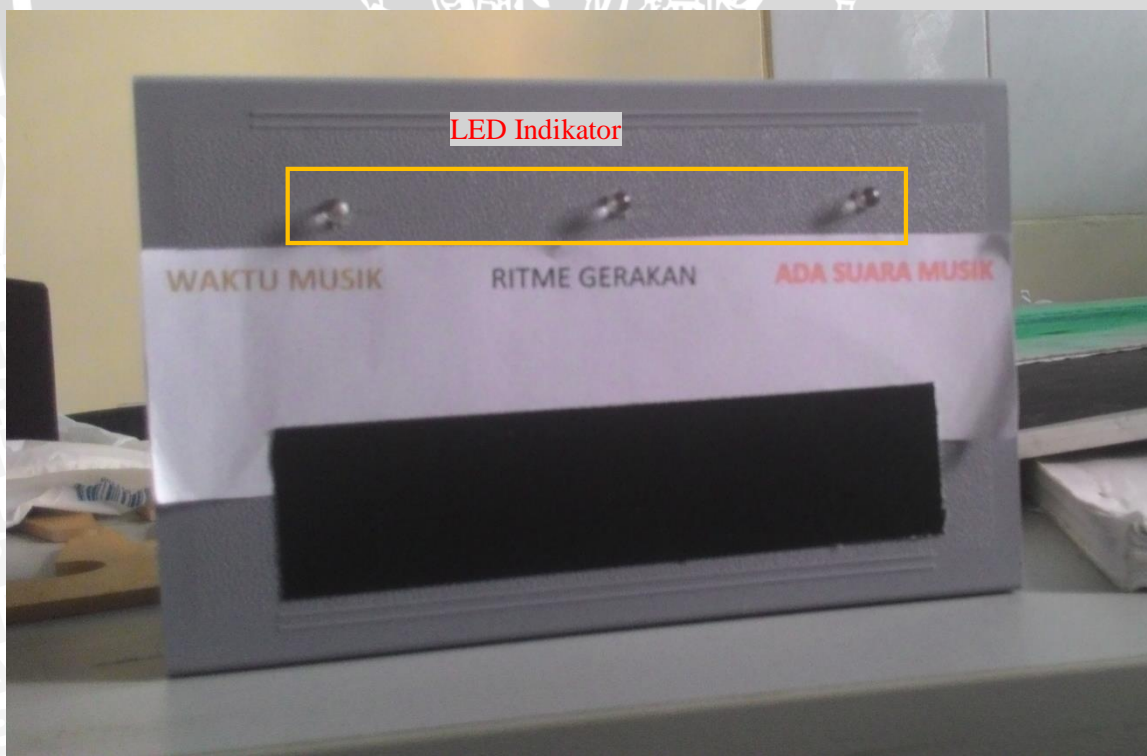
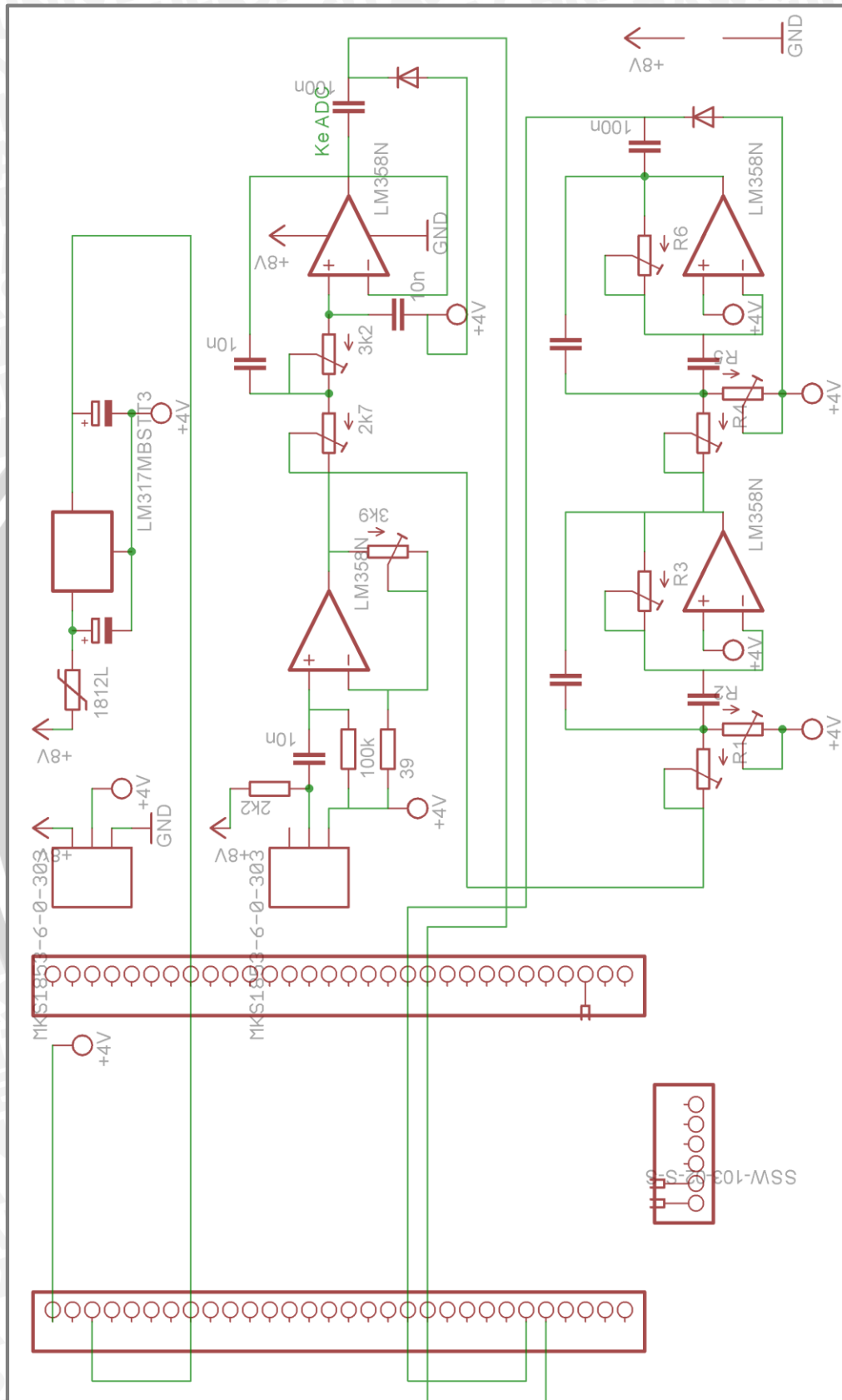


Foto Alat Tampak Luar

## Lampiran II Skematik Keseluruhan



## Lampiran III Listing Program

```
#include<stm32f10x.h>
#include<stm32f10x_rcc.h>
#include<stm32f10x_gpio.h>
#include<stm32f10x_usart.h>
#include<stm32f10x_adc.h>
#include<stm32f10x_dma.h>
#include<stm32f10x_tim.h>
#include<stm32f10x_conf.h>
#include"stm32f10x_rtc.h"
#include<misc.h>
#include<stdio.h>

ErrorStatus HSEStartUpStatus;
USART_InitTypeDef USART_InitStructure;
GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
ADC_InitTypeDef ADC_InitStructure;
DMA_InitTypeDef DMA_InitStructure;
TIM_TimeBaseInitTypeDef TIM_TimeBaseStructure;
TIM_OCInitTypeDef TIM_OCInitStructure;
NVIC_InitTypeDef NVIC_InitStructure;

uint16_t ADCBuffer[] = {0xAAAA, 0xAAAA};
char det[100],det1[100],kata2[16];
signedint i,j,a,b,c,d,e,f,k,l,g,h;
unsignedint t_tari=0;

voidSys(void);
voidUSART_config(void);
voidRTC_Config(void);
voidGPIO_config(void);
voidTimer_config(void);
voidNVIC_Config(void);
voidRTC_IRQHandler(void)
{
    if (RTC_GetITStatus(RTC_IT_SEC) != RESET)
    {
        if (e==1) {
            RTC_ClearITPendingBit(RTC_IT_SEC);
            t_tari += 1;
            RTC_WaitForLastTask();
        }
    }
}
```

```

    }
}
voidTIM2_IRQHandler(void)
{
    if (TIM_GetITStatus(TIM2, TIM_IT_Update) != RESET)
    {
        deteksi_ritme();
        if(c >= 6)
        {
            for (f = 0; f < 80; ++f) {
                GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_9,Bit_SET);
            }
        }
        else {
            GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_9,Bit_RESET);
        }
        TIM_ClearITPendingBit(TIM2, TIM_IT_Update);
    }
}
intmain(void)
{
    Sys();
    GPIO_config();
    RTC_Config();
    Timer_config();
    NVIC_Config();
    USART_config();
    setvbuf( stdout, 0, _IONBF, 0 );
    while(1)
    {
        if (t_tari>=1&&t_tari<=225) {
            GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_10,Bit_SET);
        } else {
            GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_10,Bit_RESET);
        }
        deteksi_lagu();
        if(h >= 1){
            GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_8,Bit_SET);
            e=1;
        }
        else {
            GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_8,Bit_RESET);
        }
    }
}
```



```

}
voidRTC_Config(void)
{
    /* Configure one bit for preemption priority */
    NVIC_PriorityGroupConfig(NVIC_PriorityGroup_1);
    /* Enable the RTC Interrupt */
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel = RTC_IRQn;
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority = 1;
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority = 0;
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd = ENABLE;
    NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);
    RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_PWR|RCC_APB1Periph_BKP,
    ENABLE);
    PWR_BackupAccessCmd(ENABLE);
    RCC_LSEConfig(RCC_LSE_ON);
    while (RCC_GetFlagStatus(RCC_FLAG_LSERDY) == RESET);
    RCC_RTCCLKConfig(RCC_RTCCLKSource_LSE);
    RCC_RTCCLKCmd(ENABLE);
    RTC_WaitForSynchro();
    RTC_WaitForLastTask();
    RTC_ITConfig(RTC_IT_SEC, ENABLE);
    RTC_WaitForLastTask();
    RTC_SetPrescaler(32767); /*RTCP=(32.768 KHz)/(32767+1)*/
    RTC_WaitForLastTask();
}
voidUSART_config(void)
{
    RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_USART3, ENABLE);
    USART_InitStructure.USART_BaudRate= 9600;
    USART_InitStructure.USART_WordLength=USART_WordLength_8b;
    USART_InitStructure.USART_StopBits= USART_StopBits_1;
    USART_InitStructure.USART_Parity = USART_Parity_No;
    USART_InitStructure.USART_Mode=USART_Mode_Rx|USART_Mode_T;
    USART_InitStructure.USART_HardwareFlowControl =
    \USART_HardwareFlowControl_None;
    USART_Init(USART3, &USART_InitStructure);
    USART_ITConfig(USART3, USART_IT_RXNE, ENABLE);
    USART_Cmd(USART3, ENABLE);
}
voidSys(void)
{
    /* Enable ADC1 and GPIOC clock */
    RCC_APB2PeriphClockCmd( RCC_APB2Periph_ADC1 |
    RCC_APB2Periph_GPIOB, ENABLE);
    RCC_AHBPeriphClockCmd ( RCC_AHBPeriph_DMA1, ENABLE ) ;
    DMA_InitStructure.DMA_BufferSize = 2;
    DMA_InitStructure.DMA_DIR = DMA_DIR_PeripheralSRC;
    DMA_InitStructure.DMA_M2M = DMA_M2M_Disable;
    DMA_InitStructure.DMA_MemoryBaseAddr=(uint32_t)ADCBuffer;
    DMA_InitStructure.DMA_MemoryDataSize=DMA_MemoryDataSize_HalfWord;
    DMA_InitStructure.DMA_MemoryInc = DMA_MemoryInc_Enable;
    DMA_InitStructure.DMA_Mode = DMA_Mode_Circular;
    DMA_InitStructure.DMA_PeripheralBaseAddr = (uint32_t)&ADC1->DR;
    DMA_InitStructure.DMA_PeripheralDataSize =
    DMA_PeripheralDataSize_HalfWord;
    DMA_InitStructure.DMA_PeripheralInc =
    DMA_PeripheralInc_Disable;
    DMA_InitStructure.DMA_Priority = DMA_Priority_High;
    DMA_Init(DMA1_Channel1, &DMA_InitStructure);
    DMA_Cmd ( DMA1_Channel1 , ENABLE ) ;
    RCC_ADCCLKConfig ( RCC_PCLK2_Div6 ) ;
    RCC_APB2PeriphClockCmd (
    RCC_APB2Periph_GPIOC|RCC_APB2Periph_AFIO|RCC_APB2Periph_ADC1,ENABLE
    ) ;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_0;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AIN;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_50MHz;
    GPIO_Init(GPIOC, &GPIO_InitStructure);
    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_1;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AIN;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_50MHz;
    GPIO_Init(GPIOC, &GPIO_InitStructure);
    ADC_InitStructure.ADC_ContinuousConvMode = ENABLE;
    ADC_InitStructure.ADC_DataAlign = ADC_DataAlign_Right;
    ADC_InitStructure.ADC_ExternalTrigConv =
    ADC_ExternalTrigConv_None;
    ADC_InitStructure.ADC_Mode = ADC_Mode_Independent;
    ADC_InitStructure.ADC_NbrOfChannel = 2;
    ADC_InitStructure.ADC_ScanConvMode = ENABLE;
    ADC_Init(ADC1, &ADC_InitStructure);
    ADC_RegularChannelConfig(ADC1, ADC_Channel_10, 1,
    ADC_SampleTime_7Cycles5);
    ADC_RegularChannelConfig(ADC1, ADC_Channel_11, 2,
    ADC_SampleTime_7Cycles5);
    ADC_Cmd ( ADC1 , ENABLE ) ;
    ADC_DMACmd ( ADC1 , ENABLE ) ;
    ADC_ResetCalibration(ADC1);
}

```



```

    det[i] = 0;
  }
}
}
voidTimer_config(void)
{
  RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_TIM2, ENABLE);
  TIM_DeInit(TIM2);
  TIM_TimeBaseStructInit(&TIM_TimeBaseStructure);
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_Period = 959;
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_Prescaler = 0;
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_ClockDivision= TIM_CKD_DIV1;
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_CounterMode =TIM_CounterMode_Up;
  TIM_TimeBaseInit(TIM2, &TIM_TimeBaseStructure);
  TIM_ITConfig(TIM2, TIM_IT_Update, ENABLE);
  TIM_Cmd(TIM2, ENABLE);
}
voidNVIC_Config(void)
{
  NVIC_InitTypeDef NVIC_InitStructure;
  NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel = TIM2_IRQn;
  NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority=0;
  NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority= 2;
  NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd= ENABLE;
  NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);
}
voidusart_putchar(char c)
{
  uint8_t ch;
  ch = c;
  USART_SendData(USART3, (uint8_t) ch);
  while (USART_GetFlagStatus(USART3, USART_FLAG_TC) == RESET) {}
}
voidusart_puts(char *data)
{
  int i=0;
  int n = strlen(data);
  for(i=0;i<n;i++)
  {
    usart_putchar(data[i]);
  }
}

```



## Lampiran IV Datasheet



# Datasheet STM32F100xx



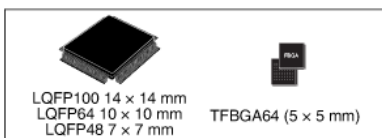
## STM32F100x4 STM32F100x6 STM32F100x8 STM32F100xB

Low & medium-density value line, advanced ARM-based 32-bit MCU with 16 to 128 KB Flash, 12 timers, ADC, DAC & 8 comm interfaces

Datasheet – production data

### Features

- Core: ARM 32-bit Cortex™-M3 CPU
  - 24 MHz maximum frequency, 1.25 DMIPS/MHz (Dhrystone 2.1) performance
  - Single-cycle multiplication and hardware division
- Memories
  - 16 to 128 Kbytes of Flash memory
  - 4 to 8 Kbytes of SRAM
- Clock, reset and supply management
  - 2.0 to 3.6 V application supply and I/Os
  - POR, PDR and programmable voltage detector (PVD)
  - 4-to-24 MHz crystal oscillator
  - Internal 8 MHz factory-trimmed RC
  - Internal 40 kHz RC
  - PLL for CPU clock
  - 32 kHz oscillator for RTC with calibration
- Low power
  - Sleep, Stop and Standby modes
  - V<sub>BAT</sub> supply for RTC and backup registers
- Debug mode
  - Serial wire debug (SWD) and JTAG interfaces
- DMA
  - 7-channel DMA controller
  - Peripherals supported: timers, ADC, SPIs, I<sup>2</sup>Cs, USARTs and DACs
- 1 × 12-bit, 1.2 μs A/D converter (up to 16 channels)
  - Conversion range: 0 to 3.6 V
  - Temperature sensor
- 2 × 12-bit D/A converters
- Up to 80 fast I/O ports
  - 37/51/80 I/Os, all mappable on 16 external interrupt vectors and almost all 5 V-tolerant



- Up to 12 timers
  - Up to three 16-bit timers, each with up to 4 IC/OC/PWM or pulse counter
  - 16-bit, 6-channel advanced-control timer: up to 6 channels for PWM output, dead time generation and emergency stop
  - One 16-bit timer, with 2 IC/OC, 1 OCN/PWM, dead-time generation and emergency stop
  - Two 16-bit timers, each with IC/OC/OCN/PWM, dead-time generation and emergency stop
  - 2 watchdog timers (Independent and Window)
  - SysTick timer: 24-bit downcounter
  - Two 16-bit basic timers to drive the DAC
- Up to 8 communications interfaces
  - Up to two I<sup>2</sup>C interfaces (SMBus/PMBus)
  - Up to 3 USARTs (ISO 7816 interface, LIN, IrDA capability, modem control)
  - Up to 2 SPIs (12 Mbit/s)
  - Consumer electronics control (CEC) interface
- CRC calculation unit, 96-bit unique ID
- ECOPACK® packages

Table 1. Device summary

Reference	Part number
STM32F100x4	STM32F100C4, STM32F100R4
STM32F100x6	STM32F100C6, STM32F100R6
STM32F100x8	STM32F100C8, STM32F100R8, STM32F100V8
STM32F100xB	STM32F100CB, STM32F100RB, STM32F100VB

## 1 Introduction

This datasheet provides the ordering information and mechanical device characteristics of the STM32F100x4, STM32F100x6, STM32F100x8 and STM32F100xB value line microcontrollers. In the rest of the document, the STM32F100x4 and STM32F100x6 are referred to as low-density devices while the STM32F100x8 and STM32F100xB are identified as medium-density devices.

The STM32F100xx datasheet should be read in conjunction with the low- and medium-density STM32F100xx reference manual. For information on programming, erasing and protection of the internal Flash memory please refer to the *STM32F100xx Flash programming manual*. The reference and Flash programming manuals are both available from the STMicroelectronics website [www.st.com](http://www.st.com).

For information on the Cortex™-M3 core please refer to the Cortex™-M3 Technical Reference Manual, available from the [www.arm.com](http://www.arm.com) website at the following address: <http://infocenter.arm.com/help/index.jsp?topic=/com.arm.doc.ddi0337e/>.



## 2 Description

The STM32F100xx value line family incorporates the high-performance ARM Cortex™-M3 32-bit RISC core operating at a 24 MHz frequency, high-speed embedded memories (Flash memory up to 128 Kbytes and SRAM up to 8 Kbytes), and an extensive range of enhanced peripherals and I/Os connected to two APB buses. All devices offer standard communication interfaces (up to two I<sup>2</sup>Cs, two SPIs, one HDMI CEC, and up to three USARTs), one 12-bit ADC, two 12-bit DACs, up to six general-purpose 16-bit timers and an advanced-control PWM timer.

The STM32F100xx low- and medium-density value line family operates in the –40 to +85 °C and –40 to +105 °C temperature ranges, from a 2.0 to 3.6 V power supply. A comprehensive set of power-saving mode allows the design of low-power applications.

The STM32F100xx value line family includes devices in three different packages ranging from 48 pins to 100 pins. Depending on the device chosen, different sets of peripherals are included.

These features make the STM32F100xx value line microcontroller family suitable for a wide range of applications such as application control and user interfaces, medical and handheld equipment, PC and gaming peripherals, GPS platforms, industrial applications, PLCs, inverters, printers, scanners, alarm systems, video intercoms, and HVACs.

### 2.1 Device overview

The description below gives an overview of the complete range of peripherals proposed in this family.

[Figure 1](#) shows the general block diagram of the device family.

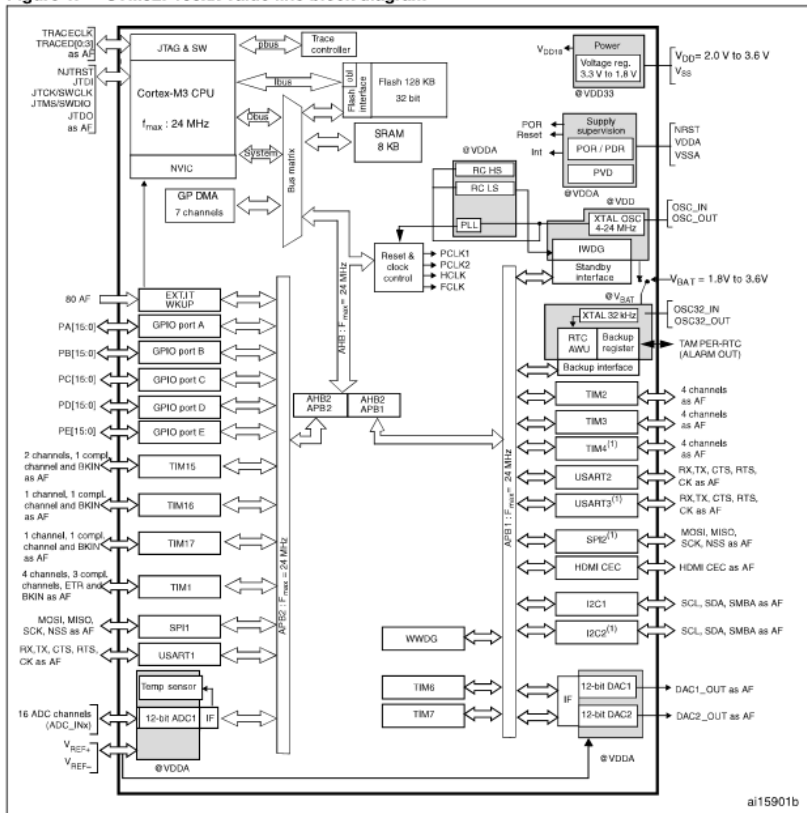
**Table 2. STM32F100xx features and peripheral counts**

Peripheral	STM32F100Cx				STM32F100Rx				STM32F100Vx	
	16	32	64	128	16	32	64	128	64	128
Flash - Kbytes	16	32	64	128	16	32	64	128	64	128
SRAM - Kbytes	4	4	8	8	4	4	8	8	8	8
Timers	Advanced-control	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	General-purpose	5 <sup>(1)</sup>	6	5 <sup>(1)</sup>	6	6	6	6	6	6
Communication interfaces	SPI	1 <sup>(2)</sup>	2	1 <sup>(2)</sup>	2	2	2	2	2	2
	I <sup>2</sup> C	1 <sup>(3)</sup>	2	1 <sup>(3)</sup>	2	2	2	2	2	2
	USART	2 <sup>(4)</sup>	3	2 <sup>(4)</sup>	3	3	3	3	3	3
	CEC	1								
12-bit synchronized ADC number of channels	1 10 channels				1 16 channels				1 16 channels	
GPIOs	37				51				80	
12-bit DAC	2									
Number of channels	2									
CPU frequency	24 MHz									
Operating voltage	2.0 to 3.6 V									
Operating temperatures	Ambient operating temperature: –40 to +85 °C / –40 to +105 °C (see <a href="#">Table 8</a> ) Junction temperature: –40 to +125 °C (see <a href="#">Table 8</a> )									
Packages	LQFP48				LQFP64, TFBGA64				LQFP100	

1. TIM4 not present.
2. SPI2 is not present.
3. I2C2 is not present.
4. USART3 is not present.

**Description** **STM32F100x4, STM32F100x6, STM32F100x8, STM32F100xB**

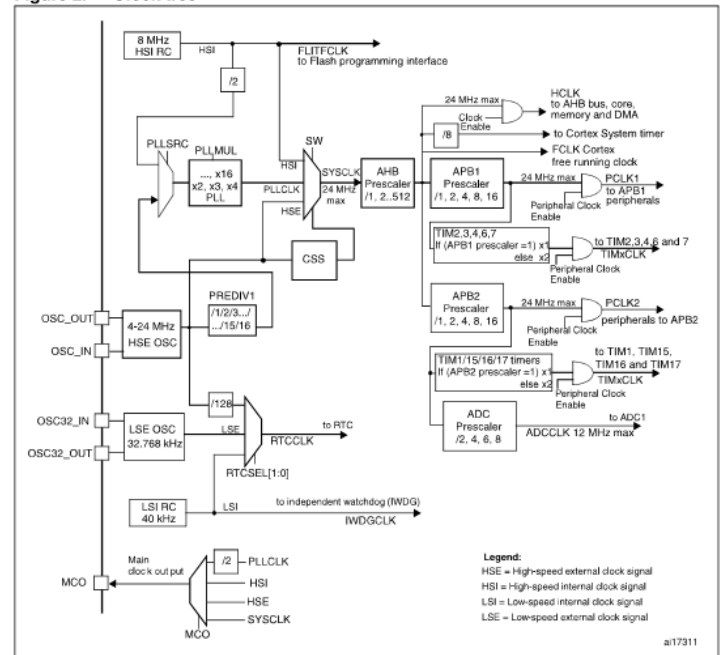
**Figure 1. STM32F100xx value line block diagram**



1. Peripherals not present in low-density value line devices.
2. AF = alternate function on I/O port pin.
3.  $T_A = -40\text{ }^\circ\text{C}$  to  $+85\text{ }^\circ\text{C}$  (junction temperature up to  $105\text{ }^\circ\text{C}$ ) or  $T_A = -40\text{ }^\circ\text{C}$  to  $+105\text{ }^\circ\text{C}$  (junction temperature up to  $125\text{ }^\circ\text{C}$ ).

**STM32F100x4, STM32F100x6, STM32F100x8, STM32F100xB** **Description**

**Figure 2. Clock tree**



4. To have an ADC conversion time of  $1.2\text{ }\mu\text{s}$ , APB2 must be at 24 MHz.

## 2.2 Overview

### 2.2.1 ARM® Cortex™-M3 core with embedded Flash and SRAM

The ARM Cortex™-M3 processor is the latest generation of ARM processors for embedded systems. It has been developed to provide a low-cost platform that meets the needs of MCU implementation, with a reduced pin count and low-power consumption, while delivering outstanding computational performance and an advanced system response to interrupts.

The ARM Cortex™-M3 32-bit RISC processor features exceptional code-efficiency, delivering the high-performance expected from an ARM core in the memory size usually associated with 8- and 16-bit devices.

The STM32F100xx value line family having an embedded ARM core, is therefore compatible with all ARM tools and software.

### 2.2.2 Embedded Flash memory

Up to 128 Kbytes of embedded Flash memory is available for storing programs and data.

### 2.2.3 CRC (cyclic redundancy check) calculation unit

The CRC (cyclic redundancy check) calculation unit is used to get a CRC code from a 32-bit data word and a fixed generator polynomial.

Among other applications, CRC-based techniques are used to verify data transmission or storage integrity. In the scope of the EN/IEC 60335-1 standard, they offer a means of verifying the Flash memory integrity. The CRC calculation unit helps compute a signature of the software during runtime, to be compared with a reference signature generated at link-time and stored at a given memory location.

### 2.2.4 Embedded SRAM

Up to 8 Kbytes of embedded SRAM accessed (read/write) at CPU clock speed with 0 wait states.

### 2.2.5 Nested vectored interrupt controller (NVIC)

The STM32F100xx value line embeds a nested vectored interrupt controller able to handle up to 41 maskable interrupt channels (not including the 16 interrupt lines of Cortex™-M3) and 16 priority levels.

- Closely coupled NVIC gives low latency interrupt processing
- Interrupt entry vector table address passed directly to the core
- Closely coupled NVIC core interface
- Allows early processing of interrupts
- Processing of *late arriving* higher priority interrupts
- Support for tail-chaining
- Processor state automatically saved
- Interrupt entry restored on interrupt exit with no instruction overhead

This hardware block provides flexible interrupt management features with minimal interrupt latency.

### 2.2.6 External interrupt/event controller (EXTI)

The external interrupt/event controller consists of 18 edge detector lines used to generate interrupt/event requests. Each line can be independently configured to select the trigger event (rising edge, falling edge, both) and can be masked independently. A pending register maintains the status of the interrupt requests. The EXTI can detect an external line with a pulse width shorter than the Internal APB2 clock period. Up to 80 GPIOs can be connected to the 16 external interrupt lines.

### 2.2.7 Clocks and startup

System clock selection is performed on startup, however the internal RC 8 MHz oscillator is selected as default CPU clock on reset. An external 4-24 MHz clock can be selected, in which case it is monitored for failure. If failure is detected, the system automatically switches back to the internal RC oscillator. A software interrupt is generated if enabled. Similarly, full interrupt management of the PLL clock entry is available when necessary (for example on failure of an indirectly used external crystal, resonator or oscillator).

Several prescalers allow the configuration of the AHB frequency, the high-speed APB (APB2) and the low-speed APB (APB1) domains. The maximum frequency of the AHB and the APB domains is 24 MHz.

### 2.2.8 Boot modes

At startup, boot pins are used to select one of three boot options:

- Boot from user Flash
- Boot from system memory
- Boot from embedded SRAM

The boot loader is located in System Memory. It is used to reprogram the Flash memory by using USART1. For further details please refer to AN2606.

### 2.2.9 Power supply schemes

- $V_{DD} = 2.0$  to  $3.6$  V: External power supply for I/Os and the internal regulator. Provided externally through  $V_{DD}$  pins.
- $V_{SSA}$ ,  $V_{DDA} = 2.0$  to  $3.6$  V: External analog power supplies for ADC, DAC, Reset blocks, RCs and PLL (minimum voltage to be applied to  $V_{DDA}$  is  $2.4$  V when the ADC or DAC is used).  $V_{DDA}$  and  $V_{SSA}$  must be connected to  $V_{DD}$  and  $V_{SS}$ , respectively.
- $V_{BAT} = 1.8$  to  $3.6$  V: Power supply for RTC, external clock 32 kHz oscillator and backup registers (through power switch) when  $V_{DD}$  is not present.

### 2.2.10 Power supply supervisor

The device has an integrated power on reset (POR)/power down reset (PDR) circuitry. It is always active, and ensures proper operation starting from/down to 2 V. The device remains in reset mode when  $V_{DD}$  is below a specified threshold,  $V_{POR/PDR}$ , without the need for an external reset circuit.

The device features an embedded programmable voltage detector (PVD) that monitors the  $V_{DD}/V_{DDA}$  power supply and compares it to the  $V_{PVD}$  threshold. An interrupt can be generated when  $V_{DD}/V_{DDA}$  drops below the  $V_{PVD}$  threshold and/or when  $V_{DD}/V_{DDA}$  is higher



**Description** **STM32F100x4, STM32F100x6, STM32F100x8, STM32F100xB**

than the  $V_{PVD}$  threshold. The interrupt service routine can then generate a warning message and/or put the MCU into a safe state. The PVD is enabled by software.

**2.2.11 Voltage regulator**

The regulator has three operation modes: main (MR), low power (LPR) and power down.

- MR is used in the nominal regulation mode (Run)
- LPR is used in the Stop mode
- Power down is used in Standby mode: the regulator output is in high impedance: the kernel circuitry is powered down, inducing zero consumption (but the contents of the registers and SRAM are lost)

This regulator is always enabled after reset. It is disabled in Standby mode, providing high impedance output.

**2.2.12 Low-power modes**

The STM32F100xx value line supports three low-power modes to achieve the best compromise between low power consumption, short startup time and available wakeup sources:

- **Sleep mode**  
In Sleep mode, only the CPU is stopped. All peripherals continue to operate and can wake up the CPU when an interrupt/event occurs.
- **Stop mode**  
Stop mode achieves the lowest power consumption while retaining the content of SRAM and registers. All clocks in the 1.8 V domain are stopped, the PLL, the HSI RC and the HSE crystal oscillators are disabled. The voltage regulator can also be put either in normal or in low power mode.  
The device can be woken up from Stop mode by any of the EXTI line. The EXTI line source can be one of the 16 external lines, the PVD output or the RTC alarm.
- **Standby mode**  
The Standby mode is used to achieve the lowest power consumption. The internal voltage regulator is switched off so that the entire 1.8 V domain is powered off. The PLL, the HSI RC and the HSE crystal oscillators are also switched off. After entering Standby mode, SRAM and register contents are lost except for registers in the Backup domain and Standby circuitry.  
The device exits Standby mode when an external reset (NRST pin), a IWDG reset, a rising edge on the WKUP pin, or an RTC alarm occurs.

*Note: The RTC, the IWDG, and the corresponding clock sources are not stopped by entering Stop or Standby mode.*

**2.2.13 DMA**

The flexible 7-channel general-purpose DMA is able to manage memory-to-memory, peripheral-to-memory and memory-to-peripheral transfers. The DMA controller supports circular buffer management avoiding the generation of interrupts when the controller reaches the end of the buffer.

**STM32F100x4, STM32F100x6, STM32F100x8, STM32F100xB** **Description**

Each channel is connected to dedicated hardware DMA requests, with support for software trigger on each channel. Configuration is made by software and transfer sizes between source and destination are independent.

The DMA can be used with the main peripherals: SPI, DAC, I<sup>2</sup>C, USART, all timers and ADC.

**2.2.14 RTC (real-time clock) and backup registers**

The RTC and the backup registers are supplied through a switch that takes power either on  $V_{DD}$  supply when present or through the  $V_{BAT}$  pin. The backup registers are ten 16-bit registers used to store 20 bytes of user application data when  $V_{DD}$  power is not present.

The real-time clock provides a set of continuously running counters which can be used with suitable software to provide a clock calendar function, and provides an alarm interrupt and a periodic interrupt. It is clocked by a 32.768 kHz external crystal, resonator or oscillator, the internal low power RC oscillator or the high-speed external clock divided by 128. The internal low power RC has a typical frequency of 40 kHz. The RTC can be calibrated using an external 512 Hz output to compensate for any natural crystal deviation. The RTC features a 32-bit programmable counter for long term measurement using the Compare register to generate an alarm. A 20-bit prescaler is used for the time base clock and is by default configured to generate a time base of 1 second from a clock at 32.768 kHz.

**2.2.15 Timers and watchdogs**

The STM32F100xx devices include an advanced-control timer, six general-purpose timers, two basic timers and two watchdog timers.

*Table 3* compares the features of the advanced-control, general-purpose and basic timers.

**Table 3. Timer feature comparison**

Timer	Counter resolution	Counter type	Prescaler factor	DMA request generation	Capture/compare channels	Complementary outputs
TIM1	16-bit	Up, down, up/down	Any integer between 1 and 65536	Yes	4	Yes
TIM2, TIM3, TIM4	16-bit	Up, down, up/down	Any integer between 1 and 65536	Yes	4	No
TIM15	16-bit	Up	Any integer between 1 and 65536	Yes	2	Yes
TIM16, TIM17	16-bit	Up	Any integer between 1 and 65536	Yes	1	Yes
TIM6, TIM7	16-bit	Up	Any integer between 1 and 65536	Yes	0	No

**Description** **STM32F100x4, STM32F100x6, STM32F100x8, STM32F100xB**

**Advanced-control timer (TIM1)**

The advanced-control timer (TIM1) can be seen as a three-phase PWM multiplexed on 6 channels. It has complementary PWM outputs with programmable inserted dead times. It can also be seen as a complete general-purpose timer. The 4 independent channels can be used for:

- Input capture
- Output compare
- PWM generation (edge or center-aligned modes)
- One-pulse mode output

If configured as a standard 16-bit timer, it has the same features as the TIMx timer. If configured as the 16-bit PWM generator, it has full modulation capability (0-100%).

The counter can be frozen in debug mode.

Many features are shared with those of the standard TIM timers which have the same architecture. The advanced control timer can therefore work together with the TIM timers via the Timer Link feature for synchronization or event chaining.

**General-purpose timers (TIM2, TIM3, TIM4, TIM15, TIM16 & TIM17)**

There are six synchronizable general-purpose timers embedded in the STM32F100xx devices (see [Table 3](#) for differences). Each general-purpose timers can be used to generate PWM outputs, or as simple time base.

**TIM2, TIM3, TIM4**

STM32F100xx devices feature three synchronizable 4-channels general-purpose timers. These timers are based on a 16-bit auto-reload up/downcounter and a 16-bit prescaler. They feature 4 independent channels each for input capture/output compare, PWM or one-pulse mode output. This gives up to 12 input captures/output compares/PWMs on the largest packages.

The TIM2, TIM3, TIM4 general-purpose timers can work together or with the TIM1 advanced-control timer via the Timer Link feature for synchronization or event chaining.

TIM2, TIM3, TIM4 all have independent DMA request generation.

These timers are capable of handling quadrature (incremental) encoder signals and the digital outputs from 1 to 3 hall-effect sensors.

Their counters can be frozen in debug mode.

**TIM15, TIM16 and TIM17**

These timers are based on a 16-bit auto-reload upcounter and a 16-bit prescaler.

TIM15 has two independent channels, whereas TIM16 and TIM17 feature one single channel for input capture/output compare, PWM or one-pulse mode output.

The TIM15, TIM16 and TIM17 timers can work together, and TIM15 can also operate with TIM1 via the Timer Link feature for synchronization or event chaining.

TIM15 can be synchronized with TIM16 and TIM17.

TIM15, TIM16, and TIM17 have a complementary output with dead-time generation and independent DMA request generation

**STM32F100x4, STM32F100x6, STM32F100x8, STM32F100xB** **Description**

Their counters can be frozen in debug mode.

**Basic timers TIM6 and TIM7**

These timers are mainly used for DAC trigger generation. They can also be used as a generic 16-bit time base.

**Independent watchdog**

The independent watchdog is based on a 12-bit downcounter and 8-bit prescaler. It is clocked from an independent 40 kHz internal RC and as it operates independently from the main clock, it can operate in Stop and Standby modes. It can be used as a watchdog to reset the device when a problem occurs, or as a free running timer for application timeout management. It is hardware or software configurable through the option bytes. The counter can be frozen in debug mode.

**Window watchdog**

The window watchdog is based on a 7-bit downcounter that can be set as free running. It can be used as a watchdog to reset the device when a problem occurs. It is clocked from the main clock. It has an early warning interrupt capability and the counter can be frozen in debug mode.

**SysTick timer**

This timer is dedicated for OS, but could also be used as a standard down counter. It features:

- A 24-bit down counter
- Autoreload capability
- Maskable system interrupt generation when the counter reaches 0.
- Programmable clock source

**2.2.16 I<sup>2</sup>C bus**

The I<sup>2</sup>C bus interface can operate in multimaster and slave modes. It can support standard and fast modes.

It supports dual slave addressing (7-bit only) and both 7/10-bit addressing in master mode. A hardware CRC generation/verification is embedded. The interface can be served by DMA and it supports SM Bus 2.0/PM Bus.

**2.2.17 Universal synchronous/asynchronous receiver transmitter (USART)**

The STM32F100xx value line embeds three universal synchronous/asynchronous receiver transmitters (USART1, USART2 and USART3).

The available USART interfaces communicate at up to 3 Mbit/s. They provide hardware management of the CTS and RTS signals, they support IrDA SIR ENDEC, the multiprocessor communication mode, the single-wire half-duplex communication mode and have LIN Master/Slave capability.

The USART interfaces can be served by the DMA controller.

Description **STM32F100x4, STM32F100x6, STM32F100x8, STM32F100xB**

**2.2.18 Serial peripheral interface (SPI)**

Up to two SPIs are able to communicate up to 12 Mbit/s in slave and master modes in full-duplex and simplex communication modes. The 3-bit prescaler gives 8 master mode frequencies and the frame is configurable to 8 bits or 16 bits.

Both SPIs can be served by the DMA controller.

**2.2.19 HDMI (high-definition multimedia interface) consumer electronics control (CEC)**

The STM32F100xx value line embeds a HDMI-CEC controller that provides hardware support of consumer electronics control (CEC) (Appendix supplement 1 to the HDMI standard).

This protocol provides high-level control functions between all audiovisual products in an environment. It is specified to operate at low speeds with minimum processing and memory overhead.

**2.2.20 GPIOs (general-purpose inputs/outputs)**

Each of the GPIO pins can be configured by software as output (push-pull or open-drain), as input (with or without pull-up or pull-down) or as peripheral alternate function. Most of the GPIO pins are shared with digital or analog alternate functions. All GPIOs are high current capable.

The I/Os alternate function configuration can be locked if needed following a specific sequence in order to avoid spurious writing to the I/Os registers.

**2.2.21 Remap capability**

This feature allows the use of a maximum number of peripherals in a given application. Indeed, alternate functions are available not only on the default pins but also on other specific pins onto which they are remappable. This has the advantage of making board design and port usage much more flexible.

For details refer to [Table 4: Low & medium-density STM32F100xx pin definitions](#); it shows the list of remappable alternate functions and the pins onto which they can be remapped. See the STM32F10xxx reference manual for software considerations.

**2.2.22 ADC (analog-to-digital converter)**

The 12-bit analog to digital converter has up to 16 external channels and performs conversions in single-shot or scan modes. In scan mode, automatic conversion is performed on a selected group of analog inputs.

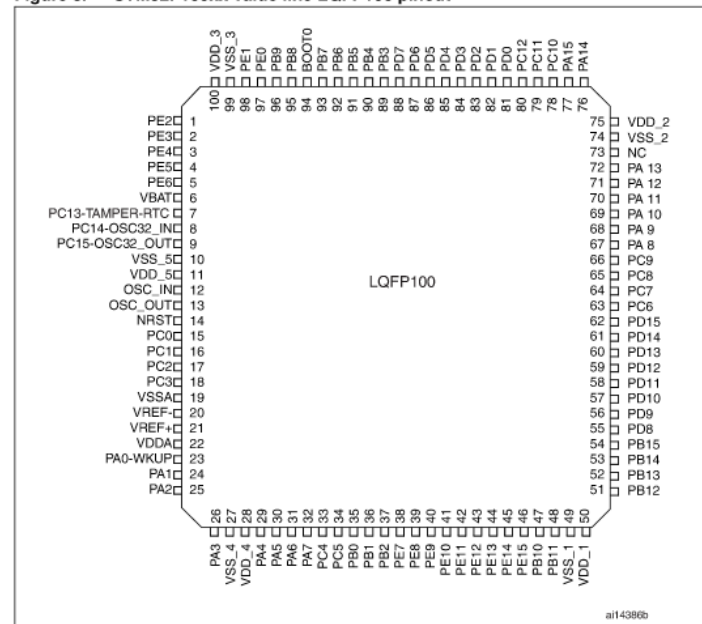
The ADC can be served by the DMA controller.

An analog watchdog feature allows very precise monitoring of the converted voltage of one, some or all selected channels. An interrupt is generated when the converted voltage is outside the programmed thresholds.

Pinouts and pin description **STM32F100x4, STM32F100x6, STM32F100x8, STM32F100xB**

**3 Pinouts and pin description**

Figure 3. STM32F100xx value line LQFP100 pinout



STM32F100x4, STM32F100x6, STM32F100x8, STM32F100xB Pinouts and pin description

Figure 4. STM32F100xx value line LQFP64 pinout

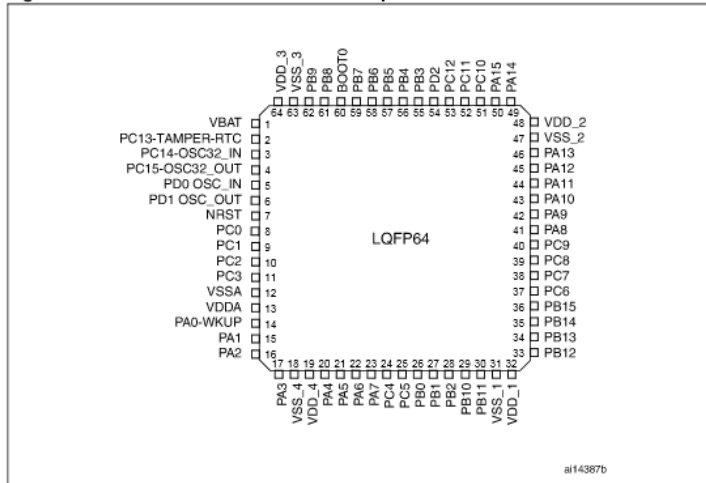
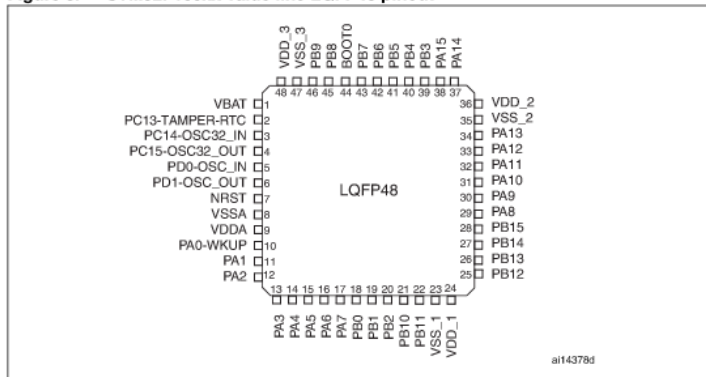


Figure 5. STM32F100xx value line LQFP48 pinout



Pinouts and pin description STM32F100x4, STM32F100x6, STM32F100x8, STM32F100xB

Figure 6. STM32F100xx value line TFBGA64 ballout

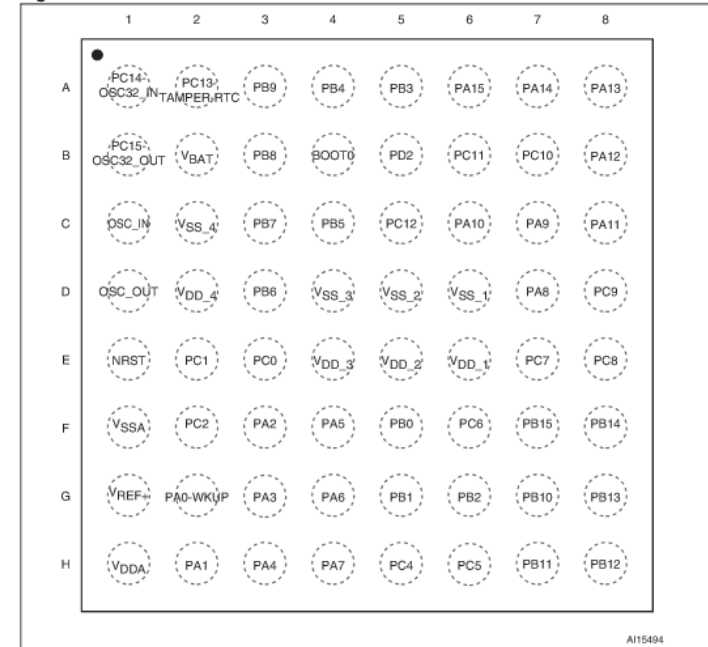


Table 4. Low & medium-density STM32F100xx pin definitions

LQFP100	Pins			Pin name	Type <sup>(1)</sup> I/O level <sup>(2)</sup>	Main function <sup>(3)</sup> (after reset)	Alternate functions <sup>(3)(4)</sup>	
	LQFP64	TFBGA64	LQFP48				Default	Remap
1	-	-	-	PE2	I/O FT	PE2	TRACECLK	
2	-	-	-	PE3	I/O FT	PE3	TRACED0	
3	-	-	-	PE4	I/O FT	PE4	TRACED1	
4	-	-	-	PE5	I/O FT	PE5	TRACED2	
5	-	-	-	PE6	I/O FT	PE6	TRACED3	
6	1	B2	1	V <sub>BAT</sub>	S	V <sub>BAT</sub>		
7	2	A2	2	PC13-TAMPER-RTC <sup>(5)</sup>	I/O	PC13 <sup>(6)</sup>	TAMPER-RTC	
8	3	A1	3	PC14-OSC32_IN <sup>(5)</sup>	I/O	PC14 <sup>(6)</sup>	OSC32_IN	

Pinouts and pin description STM32F100x4, STM32F100x6, STM32F100x8, STM32F100xB

Figure 6. STM32F100xx value line TFBGA64 ballout

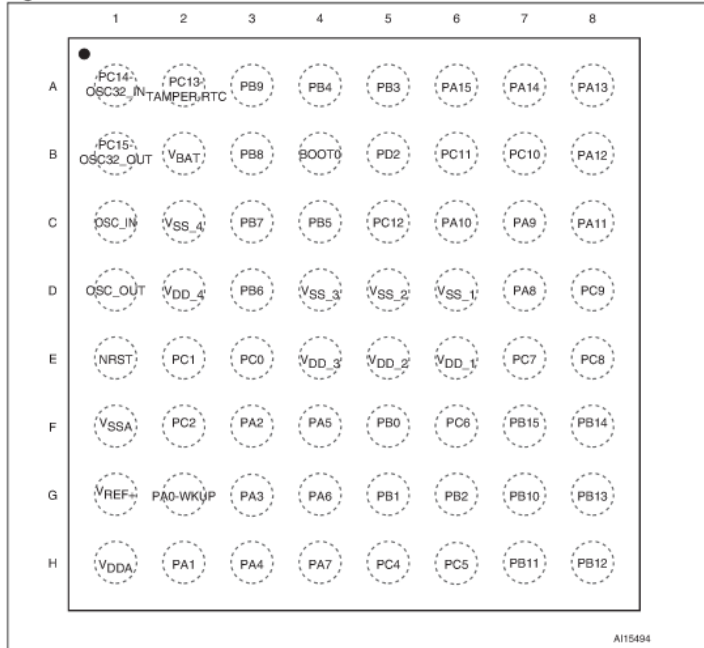


Table 4. Low & medium-density STM32F100xx pin definitions

Pins				Pin name	Type <sup>(1)</sup>	I/O level <sup>(2)</sup>	Main function <sup>(3)</sup> (after reset)	Alternate functions <sup>(3)(4)</sup>	
LQFP100	LQFP64	TFBGA64	LQFP48					Default	Remap
1	-	-	-	PE2	I/O	FT	PE2	TRACECLK	
2	-	-	-	PE3	I/O	FT	PE3	TRACED0	
3	-	-	-	PE4	I/O	FT	PE4	TRACED1	
4	-	-	-	PE5	I/O	FT	PE5	TRACED2	
5	-	-	-	PE6	I/O	FT	PE6	TRACED3	
6	1	B2	1	VBAT	S		VBAT		
7	2	A2	2	PC13-TAMPER-RTC <sup>(5)</sup>	I/O		PC13 <sup>(6)</sup>	TAMPER-RTC	
8	3	A1	3	PC14-OSC32_IN <sup>(5)</sup>	I/O		PC14 <sup>(6)</sup>	OSC32_IN	

Pinouts and pin description STM32F100x4, STM32F100x6, STM32F100x8, STM32F100xB

Table 4. Low & medium-density STM32F100xx pin definitions (continued)

Pins				Pin name	Type <sup>(1)</sup>	I/O level <sup>(2)</sup>	Main function <sup>(3)</sup> (after reset)	Alternate functions <sup>(3)(4)</sup>	
LQFP100	LQFP64	TFBGA64	LQFP48					Default	Remap
35	26	F5	18	PB0	I/O		PB0	ADC1_IN8/TIM3_CH3 <sup>(12)</sup>	TIM1_CH2N
36	27	G5	19	PB1	I/O		PB1	ADC1_IN9/TIM3_CH4 <sup>(12)</sup>	TIM1_CH3N
37	28	G6	20	PB2	I/O	FT	PB2/BOOT1		
38	-	-	-	PE7	I/O	FT	PE7		TIM1_ETR
39	-	-	-	PE8	I/O	FT	PE8		TIM1_CH1N
40	-	-	-	PE9	I/O	FT	PE9		TIM1_CH1
41	-	-	-	PE10	I/O	FT	PE10		TIM1_CH2N
42	-	-	-	PE11	I/O	FT	PE11		TIM1_CH2
43	-	-	-	PE12	I/O	FT	PE12		TIM1_CH3N
44	-	-	-	PE13	I/O	FT	PE13		TIM1_CH3
45	-	-	-	PE14	I/O	FT	PE14		TIM1_CH4
46	-	-	-	PE15	I/O	FT	PE15		TIM1_BKIN
47	29	G7	21	PB10	I/O	FT	PB10	I2C2_SCL <sup>(9)</sup> /USART3_TX <sup>(12)</sup>	TIM2_CH3 / HDML_CEC
48	30	H7	22	PB11	I/O	FT	PB11	I2C2_SDA <sup>(9)</sup> /USART3_RX <sup>(12)</sup>	TIM2_CH4
49	31	D6	23	VSS_1	S		VSS_1		
50	32	E6	24	VDD_1	S		VDD_1		
51	33	H8	25	PB12	I/O	FT	PB12	SPI2_NSS <sup>(10)</sup> /I2C2_SMBA <sup>(9)</sup> /TIM1_BKIN <sup>(12)</sup> /USART3_CK <sup>(12)</sup>	
52	34	G8	26	PB13	I/O	FT	PB13	SPI2_SCK <sup>(10)</sup> /TIM1_CH1N <sup>(12)</sup> /USART3_CTS <sup>(12)</sup>	
53	35	F8	27	PB14	I/O	FT	PB14	SPI2_MISO <sup>(10)</sup> /TIM1_CH2N <sup>(12)</sup> /USART3_RTS <sup>(12)</sup>	TIM15_CH1
54	36	F7	28	PB15	I/O	FT	PB15	SPI2_MOSI <sup>(10)</sup> /TIM1_CH3N/TIM15_CH1N <sup>(12)</sup>	TIM15_CH2
55	-	-	-	PD8	I/O	FT	PD8		USART3_TX
56	-	-	-	PD9	I/O	FT	PD9		USART3_RX
57	-	-	-	PD10	I/O	FT	PD10		USART3_CK
58	-	-	-	PD11	I/O	FT	PD11		USART3_CTS
59	-	-	-	PD12	I/O	FT	PD12		TIM4_CH1 <sup>(11)</sup> /USART3_RTS
60	-	-	-	PD13	I/O	FT	PD13		TIM4_CH2 <sup>(11)</sup>
61	-	-	-	PD14	I/O	FT	PD14		TIM4_CH3 <sup>(11)</sup>
62	-	-	-	PD15	I/O	FT	PD15		TIM4_CH4 <sup>(11)</sup>

STM32F100x4, STM32F100x6, STM32F100x8, STM32F100xB Pinouts and pin description

Table 4. Low & medium-density STM32F100xx pin definitions (continued)

Pins				Pin name	Type <sup>(1)</sup>	I/O level <sup>(2)</sup>	Main function <sup>(3)</sup> (after reset)	Alternate functions <sup>(3)(4)</sup>		
LQFP100	LQFP64	TFBGA64	LQFP48					Default	Remap	
63	37	F6	-	PC6	I/O	FT	PC6		TIM3_CH1	
64	38	E7		PC7	I/O	FT	PC7		TIM3_CH2	
65	39	E8		PC8	I/O	FT	PC8		TIM3_CH3	
66	40	D8	-	PC9	I/O	FT	PC9		TIM3_CH4	
67	41	D7	29	PA8	I/O	FT	PA8	USART1_CK / MCO / TIM1_CH1		
68	42	C7	30	PA9	I/O	FT	PA9	USART1_TX <sup>(12)</sup> / TIM1_CH2 / TIM15_BKIN		
69	43	C6	31	PA10	I/O	FT	PA10	USART1_RX <sup>(12)</sup> / TIM1_CH3 / TIM17_BKIN		
70	44	C8	32	PA11	I/O	FT	PA11	USART1_CTS / TIM1_CH4		
71	45	B8	33	PA12	I/O	FT	PA12	USART1_RTS / TIM1_ETR		
72	46	A8	34	PA13	I/O	FT	JTMS-SWDIO		PA13	
73	-	-	-	Not connected						
74	47	D5	35	V <sub>SS_2</sub>	S		V <sub>SS_2</sub>			
75	48	E5	36	V <sub>DD_2</sub>	S		V <sub>DD_2</sub>			
76	49	A7	37	PA14	I/O	FT	JTCK/SWCLK		PA14	
77	50	A6	38	PA15	I/O	FT	JTDI		TIM2_CH1_ETR / PA15 / SPI1_NSS	
78	51	B7	-	PC10	I/O	FT	PC10		USART3_TX	
79	52	B6	-	PC11	I/O	FT	PC11		USART3_RX	
80	53	C5	-	PC12	I/O	FT	PC12		USART3_CK	
81	-	C1	-	PD0	I/O	FT	PD0			
82	-	D1	-	PD1	I/O	FT	PD1			
83	54	B5		PD2	I/O	FT	PD2	TIM3_ETR		
84	-	-	-	PD3	I/O	FT	PD3		USART2_CTS	
85	-	-	-	PD4	I/O	FT	PD4		USART2_RTS	
86	-	-	-	PD5	I/O	FT	PD5		USART2_TX	
87	-	-	-	PD6	I/O	FT	PD6		USART2_RX	
88	-	-	-	PD7	I/O	FT	PD7		USART2_CK	
89	55	A5	39	PB3	I/O	FT	JTDO		TIM2_CH2 / PB3 TRACESWO SPI1_SCK	

Pinouts and pin description STM32F100x4, STM32F100x6, STM32F100x8, STM32F100xB

Table 4. Low & medium-density STM32F100xx pin definitions (continued)

Pins				Pin name	Type <sup>(1)</sup>	I/O level <sup>(2)</sup>	Main function <sup>(3)</sup> (after reset)	Alternate functions <sup>(3)(4)</sup>	
LQFP100	LQFP64	TFBGA64	LQFP48					Default	Remap
90	56	A4	40	PB4	I/O	FT	NJTRST		PB4 / TIM3_CH1 SPI1_MISO
91	57	C4	41	PB5	I/O		PB5	I2C1_SMBA / TIM16_BKIN	TIM3_CH2 / SPI1_MOSI
92	58	D3	42	PB6	I/O	FT	PB6	I2C1_SCL <sup>(12)</sup> / TIM4_CH1 <sup>(11)(12)</sup> / TIM16_CH1N	USART1_TX
93	59	C3	43	PB7	I/O	FT	PB7	I2C1_SDA <sup>(12)</sup> / TIM17_CH1N / TIM4_CH2 <sup>(11)(12)</sup>	USART1_RX
94	60	B4	44	BOOT0	I		BOOT0		
95	61	B3	45	PB8	I/O	FT	PB8	TIM4_CH3 <sup>(11)(12)</sup> / TIM16_CH1 <sup>(12)</sup> / CEC <sup>(12)</sup>	I2C1_SCL
96	62	A3	46	PB9	I/O	FT	PB9	TIM4_CH4 <sup>(11)(12)</sup> / TIM17_CH1 <sup>(12)</sup>	I2C1_SDA
97	-	-	-	PE0	I/O	FT	PE0		TIM4_ETR <sup>(11)</sup>
98	-	-	-	PE1	I/O	FT	PE1		
99	63	D4	47	V <sub>SS_3</sub>	S		V <sub>SS_3</sub>		
100	64	E4	48	V <sub>DD_3</sub>	S		V <sub>DD_3</sub>		

1. I = input, O = output, S = supply, HiZ = high impedance.
2. FT = 5 V tolerant.
3. Function availability depends on the chosen device. For devices having reduced peripheral counts, it is always the lower number of peripherals that is included. For example, if a device has only one SPI, two USARTs and two timers, they will be called SPI1, USART1 & USART2 and TIM2 & TIM3, respectively. Refer to [Table 2 on page 11](#).
4. If several peripherals share the same I/O pin, to avoid conflict between these alternate functions only one peripheral should be enabled at a time through the peripheral clock enable bit (in the corresponding RCC peripheral clock enable register).
5. PC13, PC14 and PC15 are supplied through the power switch and since the switch only sinks a limited amount of current (3 mA), the use of GPIOs PC13 to PC15 in output mode is restricted: the speed should not exceed 2 MHz with a maximum load of 30 pF and these IOs must not be used as a current source (e.g. to drive an LED).
6. Main function after the first backup domain power-up. Later on, it depends on the contents of the Backup registers even after reset (because these registers are not reset by the main reset). For details on how to manage these IOs, refer to the Battery backup domain and BKP register description sections in the STM32F10xxx reference manual, available from the STMicroelectronics website: [www.st.com](http://www.st.com).
7. The pins number 2 and 3 in the VF0FPN36 package, 5 and 6 in the LQFP48 and LQFP64 packages and C1 and C2 in the TFBGA64 package are configured as OSC\_IN/OSC\_OUT after reset, however the functionality of PD0 and PD1 can be remapped by software on these pins. For more details, refer to the Alternate function I/O and debug configuration section in the STM32F10xxx reference manual.
8. Unlike in the LQFP64 package, there is no PC3 in the TFBGA64 package. The V<sub>REF-</sub> functionality is provided instead.
9. I2C2 is not present on low-density value line devices.
10. SPI2 is not present on low-density value line devices.
11. TIM4 is not present on low-density value line devices.
12. This alternate function can be remapped by software to some other port pins (if available on the used package). For more details, refer to the Alternate function I/O and debug configuration section in the STM32F10xxx reference manual, available from the STMicroelectronics website: [www.st.com](http://www.st.com).

## 5 Electrical characteristics

### 5.1 Parameter conditions

Unless otherwise specified, all voltages are referenced to  $V_{SS}$ .

#### 5.1.1 Minimum and maximum values

Unless otherwise specified the minimum and maximum values are guaranteed in the worst conditions of ambient temperature, supply voltage and frequencies by tests in production on 100% of the devices with an ambient temperature at  $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$  and  $T_A = T_{Amax}$  (given by the selected temperature range).

Data based on characterization results, design simulation and/or technology characteristics are indicated in the table footnotes and are not tested in production. Based on characterization, the minimum and maximum values refer to sample tests and represent the mean value plus or minus three times the standard deviation ( $mean \pm 3\sigma$ ).

#### 5.1.2 Typical values

Unless otherwise specified, typical data are based on  $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} = 3.3\text{ V}$  (for the  $2\text{ V} \leq V_{DD} \leq 3.6\text{ V}$  voltage range). They are given only as design guidelines and are not tested.

Typical ADC accuracy values are determined by characterization of a batch of samples from a standard diffusion lot over the full temperature range, where 95% of the devices have an error less than or equal to the value indicated ( $mean \pm 2\sigma$ ).

#### 5.1.3 Typical curves

Unless otherwise specified, all typical curves are given only as design guidelines and are not tested.

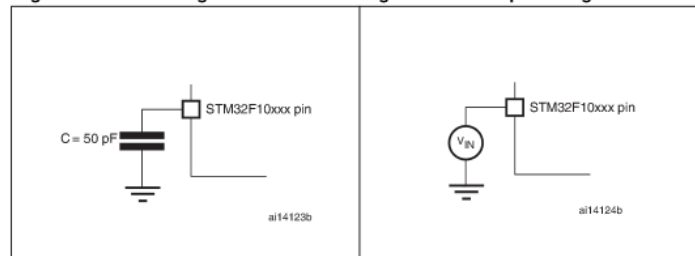
#### 5.1.4 Loading capacitor

The loading conditions used for pin parameter measurement are shown in [Figure 8](#).

#### 5.1.5 Pin input voltage

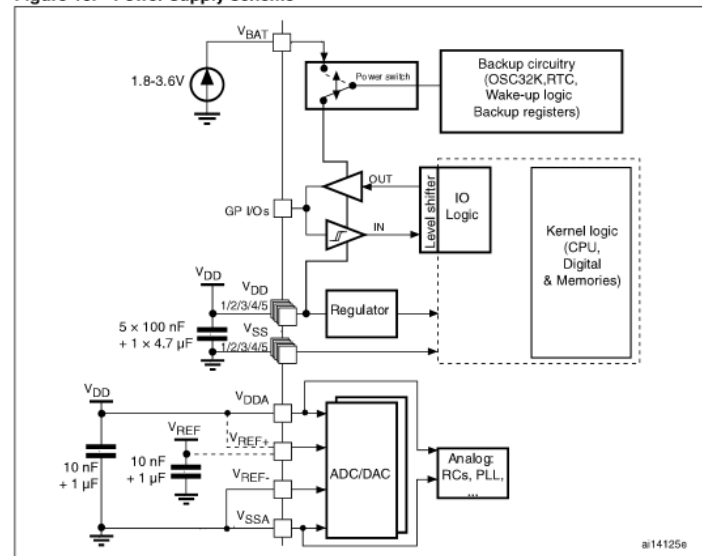
The input voltage measurement on a pin of the device is described in [Figure 9](#).

Figure 8. Pin loading conditions Figure 9. Pin input voltage



### 5.1.6 Power supply scheme

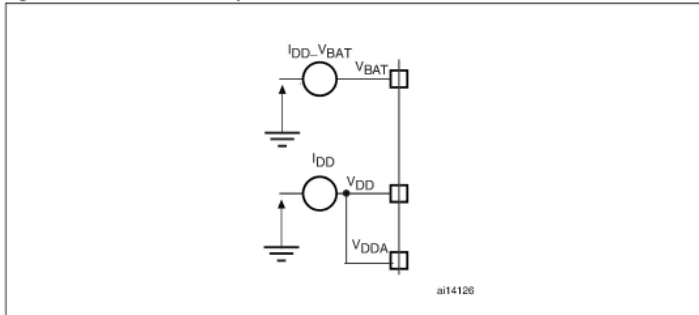
Figure 10. Power supply scheme



**Caution:** In [Figure 10](#), the 4.7 μF capacitor must be connected to  $V_{DD3}$ .

**5.1.7 Current consumption measurement**

**Figure 11. Current consumption measurement scheme**



**5.2 Absolute maximum ratings**

Stresses above the absolute maximum ratings listed in [Table 5: Voltage characteristics](#), [Table 6: Current characteristics](#), and [Table 7: Thermal characteristics](#) may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and functional operation of the device at these conditions is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

**Table 5. Voltage characteristics**

Symbol	Ratings	Min	Max	Unit
$V_{DD} - V_{SS}$	External main supply voltage (including $V_{DDA}$ and $V_{DD}$ ) <sup>(1)</sup>	-0.3	4.0	V
$V_{IN}$ <sup>(2)</sup>	Input voltage on five volt tolerant pin	$V_{SS} - 0.3$	$V_{DD} + 4.0$	
	Input voltage on any other pin	$V_{SS} - 0.3$	4.0	
$ ΔV_{DDx} $	Variations between different $V_{DD}$ power pins		50	mV
$ V_{SSx} - V_{SS} $	Variations between all the different ground pins		50	
$V_{ESD}(HBM)$	Electrostatic discharge voltage (human body model)	see <a href="#">Section 5.3.11: Absolute maximum ratings (electrical sensitivity)</a>		

- All main power ( $V_{DD}$ ,  $V_{DDA}$ ) and ground ( $V_{SS}$ ,  $V_{SSA}$ ) pins must always be connected to the external power supply, in the permitted range.
- $V_{IN}$  maximum must always be respected. Refer to [Table 6: Current characteristics](#) for the maximum allowed injected current values.

**Table 6. Current characteristics**

Symbol	Ratings	Max.	Unit
$I_{VDD}$	Total current into $V_{DD}/V_{DDA}$ power lines (source) <sup>(1)</sup>	150	mA
$I_{VSS}$	Total current out of $V_{SS}$ ground lines (sink) <sup>(1)</sup>	150	
$I_{IO}$	Output current sunk by any I/O and control pin	25	
	Output current source by any I/Os and control pin	-25	
$I_{INJ(PIN)}$ <sup>(2)</sup>	Injected current on five volt tolerant pins <sup>(3)</sup>	-5 / +0	
	Injected current on any other pin <sup>(4)</sup>	± 5	
$ΣI_{INJ(PIN)}$	Total injected current (sum of all I/O and control pins) <sup>(5)</sup>	± 25	

- All main power ( $V_{DD}$ ,  $V_{DDA}$ ) and ground ( $V_{SS}$ ,  $V_{SSA}$ ) pins must always be connected to the external power supply, in the permitted range.
- Negative injection disturbs the analog performance of the device. See [Note: on page 69](#).
- Positive injection is not possible on these I/Os. A negative injection is induced by  $V_{IN} < V_{SS}$ .  $I_{INJ(PIN)}$  must never be exceeded. Refer to [Table 5: Voltage characteristics](#) for the maximum allowed input voltage values.
- A positive injection is induced by  $V_{IN} > V_{DD}$  while a negative injection is induced by  $V_{IN} < V_{SS}$ .  $I_{INJ(PIN)}$  must never be exceeded. Refer to [Table 5: Voltage characteristics](#) for the maximum allowed input voltage values.
- When several inputs are submitted to a current injection, the maximum  $ΣI_{INJ(PIN)}$  is the absolute sum of the positive and negative injected currents (instantaneous values).

**Table 7. Thermal characteristics**

Symbol	Ratings	Value	Unit
$T_{STG}$	Storage temperature range	-65 to +150	°C
$T_J$	Maximum junction temperature	150	°C

**5.3 Operating conditions**

**5.3.1 General operating conditions**

**Table 8. General operating conditions**

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Unit
$f_{HCLK}$	Internal AHB clock frequency		0	24	MHz
$f_{PCLK1}$	Internal APB1 clock frequency		0	24	
$f_{PCLK2}$	Internal APB2 clock frequency		0	24	
$V_{DD}$	Standard operating voltage		2	3.6	V
$V_{DDA}$ <sup>(1)</sup>	Analog operating voltage (ADC not used)	Must be the same potential as $V_{DD}$	2	3.6	V
	Analog operating voltage (ADC used)		2.4	3.6	
$V_{BAT}$	Backup operating voltage		1.8	3.6	V



### 5.3.4 Embedded reference voltage

The parameters given in [Table 11](#) are derived from tests performed under the ambient temperature and  $V_{DD}$  supply voltage conditions summarized in [Table 8](#).

**Table 11. Embedded internal reference voltage**

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$V_{REFINT}$	Internal reference voltage	$-40\text{ }^{\circ}\text{C} < T_A < +105\text{ }^{\circ}\text{C}$	1.16	1.20	1.26	V
		$-40\text{ }^{\circ}\text{C} < T_A < +85\text{ }^{\circ}\text{C}$	1.16	1.20	1.24	V
$T_{S\_vrefint}^{(1)}$	ADC sampling time when reading the internal reference voltage			5.1	17.1 <sup>(2)</sup>	$\mu\text{s}$
$V_{RERINT}^{(2)}$	Internal reference voltage spread over the temperature range	$V_{DD} = 3\text{ V} \pm 10\text{ mV}$			10	mV
$T_{Coefl}^{(2)}$	Temperature coefficient				100	ppm/ $^{\circ}\text{C}$

- Shortest sampling time can be determined in the application by multiple iterations.
- Guaranteed by design, not tested in production.

### 5.3.5 Supply current characteristics

The current consumption is a function of several parameters and factors such as the operating voltage, ambient temperature, I/O pin loading, device software configuration, operating frequencies, I/O pin switching rate, program location in memory and executed binary code.

The current consumption is measured as described in [Figure 11: Current consumption measurement scheme](#).

All Run-mode current consumption measurements given in this section are performed with a reduced code that gives a consumption equivalent to Dhrystone 2.1 code.

#### Maximum current consumption

The MCU is placed under the following conditions:

- All I/O pins are in input mode with a static value at  $V_{DD}$  or  $V_{SS}$  (no load)
- All peripherals are disabled except if it is explicitly mentioned
- Prefetch in on (reminder: this bit must be set before clock setting and bus prescaling)
- When the peripherals are enabled  $f_{PCLK1} = f_{HCLK}/2$ ,  $f_{PCLK2} = f_{HCLK}$

The parameters given in [Table 12](#) are derived from tests performed under the ambient temperature and  $V_{DD}$  supply voltage conditions summarized in [Table 8](#).

### 5.3.13 I/O port characteristics

#### General input/output characteristics

Unless otherwise specified, the parameters given in [Table 34](#) are derived from tests performed under the conditions summarized in [Table 8](#). All I/Os are CMOS and TTL compliant.

**Table 34. I/O static characteristics**

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$V_{IL}$	Standard I/O input low level voltage		-0.3		$0.28 \cdot (V_{DD}-2\text{ V}) + 0.8\text{ V}$	V
	I/O FT <sup>(1)</sup> input low level voltage		-0.3		$0.32 \cdot (V_{DD}-2\text{ V}) + 0.75\text{ V}$	
$V_{IH}$	Standard I/O input high level voltage		$0.41 \cdot (V_{DD}-2\text{ V}) + 1.3\text{ V}$		$V_{DD} + 0.3$	V
	I/O FT <sup>(1)</sup> input high level voltage	$V_{DD} > 2\text{ V}$ $V_{DD} \leq 2\text{ V}$	$0.42 \cdot (V_{DD}-2) + 1\text{ V}$		5.5 5.2	
$V_{hys}$	Standard I/O Schmitt trigger voltage hysteresis <sup>(2)</sup>		200			mV
	I/O FT Schmitt trigger voltage hysteresis <sup>(2)</sup>		$5\% V_{DD}^{(3)}$			mV
$I_{lkg}$	Input leakage current <sup>(4)</sup>	$V_{SS} \leq V_{IN} \leq V_{DD}$ Standard I/Os			$\pm 1$	$\mu\text{A}$
		$V_{IN} = 5\text{ V}$ I/O FT			3	
$R_{PU}$	Weak pull-up equivalent resistor <sup>(5)</sup>	$V_{IN} = V_{SS}$	30	40	50	k $\Omega$
$R_{PD}$	Weak pull-down equivalent resistor <sup>(5)</sup>	$V_{IN} = V_{DD}$	30	40	50	k $\Omega$
$C_{IO}$	I/O pin capacitance			5		pF

- FT = 5V tolerant. To sustain a voltage higher than  $V_{DD} + 0.3$  the internal pull-up/pull-down resistors must be disabled.
- Hysteresis voltage between Schmitt trigger switching levels. Guaranteed by design, not tested in production.
- With a minimum of 100 mV.
- Leakage could be higher than max. if negative current is injected on adjacent pins.
- Pull-up and pull-down resistors are designed with a true resistance in series with a switchable PMOS/NMOS. This PMOS/NMOS contribution to the series resistance is minimum (~10% order).

All I/Os are CMOS and TTL compliant (no software configuration required). Their characteristics cover more than the strict CMOS-technology or TTL parameters. The coverage of these requirements is shown in [Figure 22](#) and [Figure 23](#) for standard I/Os, and in [Figure 24](#) and [Figure 25](#) for 5 V tolerant I/Os.



**Output voltage levels**

Unless otherwise specified, the parameters given in [Table 35](#) are derived from tests performed under the ambient temperature and  $V_{DD}$  supply voltage conditions summarized in [Table 8](#). All I/Os are CMOS and TTL compliant.

**Table 35. Output voltage characteristics**

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Unit
$V_{OL}^{(1)}$	Output Low level voltage for an I/O pin when 8 pins are sunk at the same time	CMOS port <sup>(2)</sup> $I_{IO} = +8 \text{ mA}$ , $2.7 \text{ V} < V_{DD} < 3.6 \text{ V}$		0.4	V
$V_{OH}^{(3)}$	Output High level voltage for an I/O pin when 8 pins are sourced at the same time		$V_{DD}-0.4$		
$V_{OL}^{(1)}$	Output low level voltage for an I/O pin when 8 pins are sunk at the same time	TTL port <sup>(2)</sup> $I_{IO} = +8 \text{ mA}$ , $2.7 \text{ V} < V_{DD} < 3.6 \text{ V}$		0.4	V
$V_{OH}^{(3)}$	Output high level voltage for an I/O pin when 8 pins are sourced at the same time		2.4		
$V_{OL}^{(1)}$	Output low level voltage for an I/O pin when 8 pins are sunk at the same time	$I_{IO} = +20 \text{ mA}^{(4)}$ , $2.7 \text{ V} < V_{DD} < 3.6 \text{ V}$		1.3	V
$V_{OH}^{(3)}$	Output high level voltage for an I/O pin when 8 pins are sourced at the same time		$V_{DD}-1.3$		
$V_{OL}^{(1)}$	Output low level voltage for an I/O pin when 8 pins are sunk at the same time	$I_{IO} = +6 \text{ mA}^{(4)}$ , $2 \text{ V} < V_{DD} < 2.7 \text{ V}$		0.4	V
$V_{OH}^{(3)}$	Output high level voltage for an I/O pin when 8 pins are sourced at the same time		$V_{DD}-0.4$		

- The  $I_{IO}$  current sunk by the device must always respect the absolute maximum rating specified in [Table 6](#) and the sum of  $I_{IO}$  (I/O ports and control pins) must not exceed  $I_{VSS}$ .
- TTL and CMOS outputs are compatible with JEDEC standards JESD36 and JESD52.
- The  $I_{IO}$  current sourced by the device must always respect the absolute maximum rating specified in [Table 6](#) and the sum of  $I_{IO}$  (I/O ports and control pins) must not exceed  $I_{VDD}$ .
- Based on characterization data, not tested in production.

**Input/output AC characteristics**

The definition and values of input/output AC characteristics are given in [Figure 26](#) and [Table 36](#), respectively.

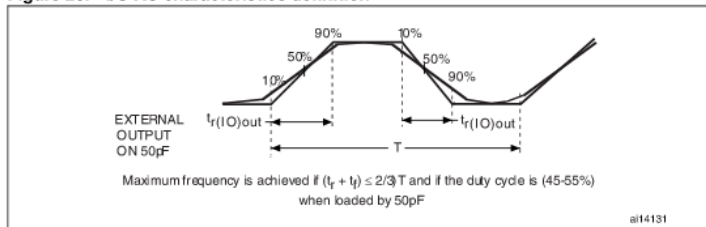
Unless otherwise specified, the parameters given in [Table 36](#) are derived from tests performed under the ambient temperature and  $V_{DD}$  supply voltage conditions summarized in [Table 8](#).

**Table 36. I/O AC characteristics<sup>(1)</sup>**

MODEx [1:0] bit value <sup>(1)</sup>	Symbol	Parameter	Conditions	Max	Unit
10	$f_{\max(I/O)\text{out}}$	Maximum frequency <sup>(2)</sup>	$C_L = 50 \text{ pF}$ , $V_{DD} = 2 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$	$2^{(3)}$	MHz
	$t_{r(I/O)\text{out}}$	Output high to low level fall time	$C_L = 50 \text{ pF}$ , $V_{DD} = 2 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$	$125^{(3)}$	ns
	$t_{r(I/O)\text{out}}$	Output low to high level rise time		$125^{(3)}$	
01	$f_{\max(I/O)\text{out}}$	Maximum frequency <sup>(2)</sup>	$C_L = 50 \text{ pF}$ , $V_{DD} = 2 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$	$10^{(3)}$	MHz
	$t_{r(I/O)\text{out}}$	Output high to low level fall time	$C_L = 50 \text{ pF}$ , $V_{DD} = 2 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$	$25^{(3)}$	ns
	$t_{r(I/O)\text{out}}$	Output low to high level rise time		$25^{(3)}$	
11	$f_{\max(I/O)\text{out}}$	Maximum frequency <sup>(2)</sup>	$C_L = 50 \text{ pF}$ , $V_{DD} = 2 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$	24	MHz
	$t_{r(I/O)\text{out}}$	Output high to low level fall time	$C_L = 30 \text{ pF}$ , $V_{DD} = 2.7 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$	$5^{(3)}$	ns
			$C_L = 50 \text{ pF}$ , $V_{DD} = 2.7 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$	$8^{(3)}$	
			$C_L = 50 \text{ pF}$ , $V_{DD} = 2 \text{ V to } 2.7 \text{ V}$	$12^{(3)}$	
$t_{r(I/O)\text{out}}$	Output low to high level rise time	$C_L = 30 \text{ pF}$ , $V_{DD} = 2.7 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$	$5^{(3)}$		
		$C_L = 50 \text{ pF}$ , $V_{DD} = 2.7 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$	$8^{(3)}$		
-	$t_{EXTIpw}$	Pulse width of external signals detected by the EXTI controller	$C_L = 50 \text{ pF}$ , $V_{DD} = 2 \text{ V to } 2.7 \text{ V}$	$12^{(3)}$	ns
				$10^{(3)}$	

- The I/O speed is configured using the MODEx[1:0] bits. Refer to the STM32F10xxx reference manual for a description of GPIO Port configuration register.
- The maximum frequency is defined in [Figure 26](#).
- Guaranteed by design, not tested in production.

Figure 26. I/O AC characteristics definition



5.3.14 NRST pin characteristics

The NRST pin input driver uses CMOS technology. It is connected to a permanent pull-up resistor, R<sub>PU</sub> (see Table 34).

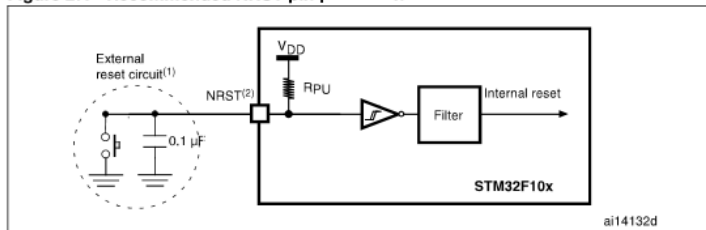
Unless otherwise specified, the parameters given in Table 37 are derived from tests performed under the ambient temperature and V<sub>DD</sub> supply voltage conditions summarized in Table 8.

Table 37. NRST pin characteristics

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
V <sub>IL(NRST)</sub> <sup>(1)</sup>	NRST Input low level voltage		-0.5		0.8	V
V <sub>IH(NRST)</sub> <sup>(1)</sup>	NRST Input high level voltage		2		V <sub>DD</sub> +0.5	
V <sub>hys(NRST)</sub>	NRST Schmitt trigger voltage hysteresis			200		mV
R <sub>PU</sub>	Weak pull-up equivalent resistor <sup>(2)</sup>	V <sub>IN</sub> = V <sub>SS</sub>	30	40	50	kΩ
V <sub>F(NRST)</sub> <sup>(1)</sup>	NRST Input filtered pulse				100	ns
V <sub>NF(NRST)</sub> <sup>(1)</sup>	NRST Input not filtered pulse		300			ns

- Guaranteed by design, not tested in production.
- The pull-up is designed with a true resistance in series with a switchable PMOS. This PMOS contribution to the series resistance must be minimum (~10% order).

Figure 27. Recommended NRST pin protection



- The reset network protects the device against parasitic resets.
- The user must ensure that the level on the NRST pin can go below the V<sub>IL(NRST)</sub> max level specified in Table 37. Otherwise the reset will not be taken into account by the device.

5.3.15 TIMx characteristics

The parameters given in Table 38 are guaranteed by design.

Refer to Section 5.3.12: I/O current injection characteristics for details on the input/output alternate function characteristics (output compare, input capture, external clock, PWM output).

Table 38. TIMx characteristics

Symbol	Parameter	Conditions <sup>(1)</sup>	Min	Max	Unit
t <sub>res(TIM)</sub>	Timer resolution time		1		t <sub>TIMxCLK</sub>
		f <sub>TIMxCLK</sub> = 24 MHz	41.7		ns
f <sub>EXT</sub>	Timer external clock frequency on CHx <sup>(2)</sup>		0	f <sub>TIMxCLK</sub> /2	MHz
		f <sub>TIMxCLK</sub> = 24 MHz	0	12	MHz
RES <sub>TIM</sub>	Timer resolution			16	bit
t <sub>COUNTER</sub>	16-bit counter clock period when the internal clock is selected		1	65536	t <sub>TIMxCLK</sub>
		f <sub>TIMxCLK</sub> = 24 MHz		2730	μs
t <sub>MAX_COUNT</sub>	Maximum possible count			65536 × 65536	t <sub>TIMxCLK</sub>
		f <sub>TIMxCLK</sub> = 24 MHz		178	s

- TIMx is used as a general term to refer to the TIM1, TIM2, TIM3, TIM4, TIM15, TIM16 and TIM17 timers.
- CHx is used as a general term to refer to CH1 to CH4 for TIM1, TIM2, TIM3 and TIM4, to the CH1 to CH2 for TIM15, and to CH1 for TIM16 and TIM17.

5.3.16 Communications interfaces

I<sup>2</sup>C interface characteristics

Unless otherwise specified, the parameters given in Table 39 are derived from tests performed under the ambient temperature, f<sub>CLK1</sub> frequency and V<sub>DD</sub> supply voltage conditions summarized in Table 8.

The STM32F100xx value line I<sup>2</sup>C interface meets the requirements of the standard I<sup>2</sup>C communication protocol with the following restrictions: the I/O pins SDA and SCL are mapped to are not "true" open-drain. When configured as open-drain, the PMOS connected between the I/O pin and V<sub>DD</sub> is disabled, but is still present.

The I<sup>2</sup>C characteristics are described in Table 39. Refer also to Section 5.3.12: I/O current injection characteristics for more details on the input/output alternate function characteristics (SDA and SCL).

### 5.3.15 TIMx characteristics

The parameters given in [Table 38](#) are guaranteed by design.

Refer to [Section 5.3.12: I/O current injection characteristics](#) for details on the input/output alternate function characteristics (output compare, input capture, external clock, PWM output).

**Table 38. TIMx characteristics**

Symbol	Parameter	Conditions <sup>(1)</sup>	Min	Max	Unit
t <sub>res(TIM)</sub>	Timer resolution time		1		t <sub>TIMxCLK</sub>
		f <sub>TIMxCLK</sub> = 24 MHz	41.7		ns
f <sub>EXT</sub>	Timer external clock frequency on CHx <sup>(2)</sup>		0	f <sub>TIMxCLK</sub> /2	MHz
		f <sub>TIMxCLK</sub> = 24 MHz	0	12	MHz
Res <sub>TIM</sub>	Timer resolution			16	bit
t <sub>COUNTER</sub>	16-bit counter clock period when the internal clock is selected		1	65536	t <sub>TIMxCLK</sub>
		f <sub>TIMxCLK</sub> = 24 MHz		2730	µs
t <sub>MAX_COUNT</sub>	Maximum possible count			65536 × 65536	t <sub>TIMxCLK</sub>
		f <sub>TIMxCLK</sub> = 24 MHz		178	s

- TIMx is used as a general term to refer to the TIM1, TIM2, TIM3, TIM4, TIM15, TIM16 and TIM17 timers.
- CHx is used as a general term to refer to CH1 to CH4 for TIM1, TIM2, TIM3 and TIM4, to the CH1 to CH2 for TIM15, and to CH1 for TIM16 and TIM17.

### 5.3.16 Communications interfaces

#### I<sup>2</sup>C interface characteristics

Unless otherwise specified, the parameters given in [Table 39](#) are derived from tests performed under the ambient temperature, f<sub>PCLK1</sub> frequency and V<sub>DD</sub> supply voltage conditions summarized in [Table 8](#).

The STM32F100xx value line I<sup>2</sup>C interface meets the requirements of the standard I<sup>2</sup>C communication protocol with the following restrictions: the I/O pins SDA and SCL are mapped to are not "true" open-drain. When configured as open-drain, the PMOS connected between the I/O pin and V<sub>DD</sub> is disabled, but is still present.

The I<sup>2</sup>C characteristics are described in [Table 39](#). Refer also to [Section 5.3.12: I/O current injection characteristics](#) for more details on the input/output alternate function characteristics (SDA and SCL).

**Table 43. R<sub>AIN</sub> max for f<sub>ADC</sub> = 12 MHz<sup>(1)</sup>**

T <sub>s</sub> (cycles)	t <sub>S</sub> (µs)	R <sub>AIN</sub> max (kΩ)
1.5	0.125	0.4
7.5	0.625	5.9
13.5	1.125	11.4
28.5	2.375	25.2
41.5	3.45	37.2
55.5	4.625	50
71.5	5.96	NA
239.5	20	NA

- Guaranteed by design, not tested in production.

**Table 44. ADC accuracy - limited test conditions<sup>(1)(2)</sup>**

Symbol	Parameter	Test conditions	Typ	Max	Unit
ET	Total unadjusted error	f <sub>PCLK2</sub> = 24 MHz, f <sub>ADC</sub> = 12 MHz, R <sub>AIN</sub> < 10 kΩ, V <sub>DDA</sub> = 3 V to 3.6 V V <sub>REF+</sub> = V <sub>DDA</sub> T <sub>A</sub> = 25 °C	±1.3	±2.2	LSB
EO	Offset error		±1	±1.5	
EG	Gain error		±0.5	±1.5	
ED	Differential linearity error		±0.7	±1	
EL	Integral linearity error		±0.8	±1.5	

- ADC DC accuracy values are measured after internal calibration.
- Based on characterization, not tested in production.

**Table 45. ADC accuracy<sup>(1) (2) (3)</sup>**

Symbol	Parameter	Test conditions	Typ	Max	Unit
ET	Total unadjusted error	f <sub>PCLK2</sub> = 24 MHz, f <sub>ADC</sub> = 12 MHz, R <sub>AIN</sub> < 10 kΩ, V <sub>DDA</sub> = 2.4 V to 3.6 V T <sub>A</sub> = Full operating range	±2	±5	LSB
EO	Offset error		±1.5	±2.5	
EG	Gain error		±1.5	±3	
ED	Differential linearity error		±1	±2	
EL	Integral linearity error		±1.5	±3	

- ADC DC accuracy values are measured after internal calibration.
- Better performance could be achieved in restricted V<sub>DD</sub>, frequency, V<sub>REF</sub> and temperature ranges.
- Based on characterization, not tested in production.

**Note:** ADC accuracy vs. negative injection current: Injecting a negative current on any analog input pins should be avoided as this significantly reduces the accuracy of the conversion being performed on another analog input. It is recommended to add a Schottky diode (pin to ground) to analog pins which may potentially inject negative currents. Any positive injection current within the limits specified for I<sub>INJ(PIN)</sub> and ΣI<sub>INJ(PIN)</sub> in [Section 5.3.12](#) does not affect the ADC accuracy.

Figure 32. ADC accuracy characteristics

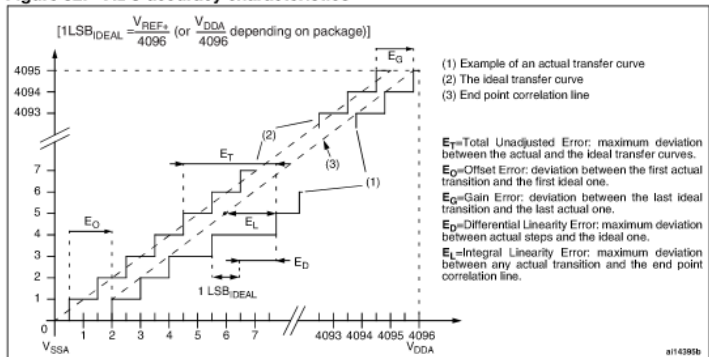
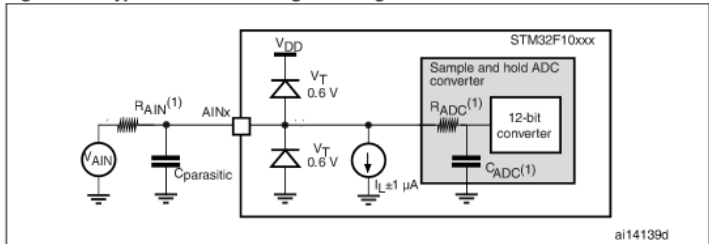


Figure 33. Typical connection diagram using the ADC

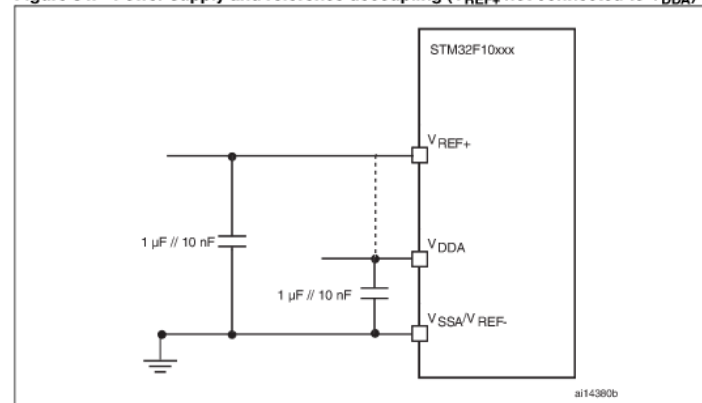


1. Refer to [Table 42](#) for the values of  $R_{\text{AIN}}$ ,  $R_{\text{ADC}}$  and  $C_{\text{ADC}}$ .
2.  $C_{\text{parasitic}}$  represents the capacitance of the PCB (dependent on soldering and PCB layout quality) plus the pad capacitance (roughly 7 pF). A high  $C_{\text{parasitic}}$  value will downgrade conversion accuracy. To remedy this,  $f_{\text{ADC}}$  should be reduced.

**General PCB design guidelines**

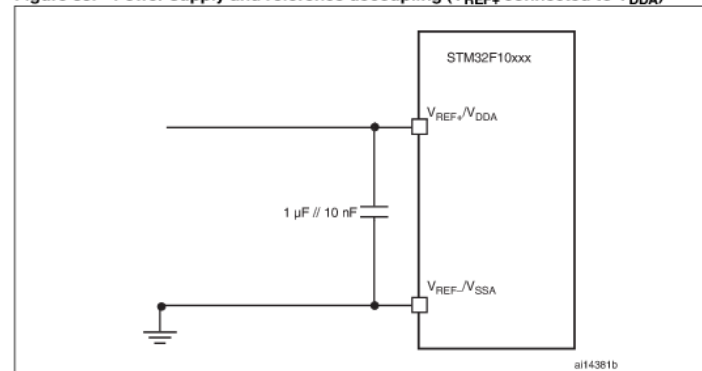
Power supply decoupling should be performed as shown in [Figure 34](#) or [Figure 35](#), depending on whether  $V_{\text{REF}+}$  is connected to  $V_{\text{DDA}}$  or not. The 10 nF capacitors should be ceramic (good quality). They should be placed them as close as possible to the chip.

Figure 34. Power supply and reference decoupling ( $V_{\text{REF}+}$  not connected to  $V_{\text{DDA}}$ )



1.  $V_{\text{REF}+}$  is available on 100-pin packages and on TFPGA64 packages.  $V_{\text{REF-}}$  is available on 100-pin packages only.

Figure 35. Power supply and reference decoupling ( $V_{\text{REF}+}$  connected to  $V_{\text{DDA}}$ )



1.  $V_{\text{REF}+}$  and  $V_{\text{REF-}}$  inputs are available only on 100-pin packages.

## Datasheet Electret Microphon Condenser



page 1 of 4  
date 06/2008

**PART NUMBER:** CMA-4544PF-W

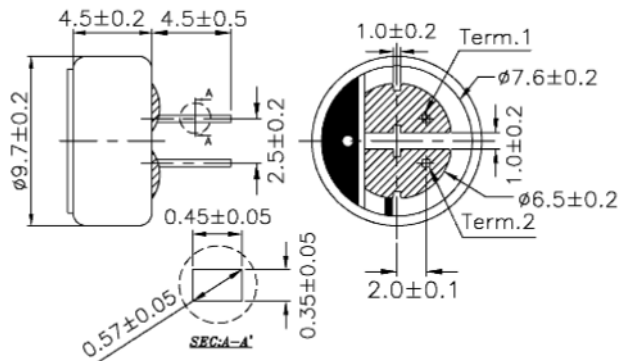
**DESCRIPTION:** electret condenser microphone

### SPECIFICATIONS

directivity	omnidirectional	
sensitivity (S)	-44 ±2 dB	f = 1KHz, 1Pa 0dB = 1V/Pa
sensitivity reduction (ΔS-Vs)	-3 dB	f = 1KHz, 1Pa Vs = 3.0 ~ 2.0 V dc
operating voltage	3 V dc (standard), 10 V dc (max.)	
output impedance (Zout)	2.2 KΩ	f = 1KHz, 1Pa
operating frequency (f)	20 ~ 20,000 Hz	
current consumption (I <sub>DSS</sub> )	0.5 mA max.	Vs = 3.0 V dc RL = 2.2KΩ
signal to noise ratio (S/N)	60 dBA	f = 1KHz, 1Pa A-weighted
operating temperature	-20 ~ +70° C	
storage temperature	-20 ~ +70° C	
dimensions	ø9.7 x 4.5 mm	
weight	0.80 g max.	
material	Al	
terminal	pin type (hand soldering only)	
RoHS	yes	

note: We use the "Pascal (Pa)" indication of sensitivity as per the recommendation of I.E.C. (International Electrotechnical Commission). The sensitivity of "Pa" will increase 20dB compared to the "ubar" indication. Example: -60dB (0dB = 1V/ubar) = -40dB (1V/Pa)

### APPEARANCE DRAWING

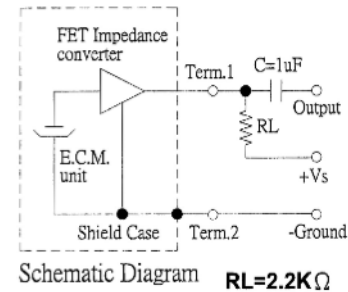


page 2 of 4  
date 06/2008

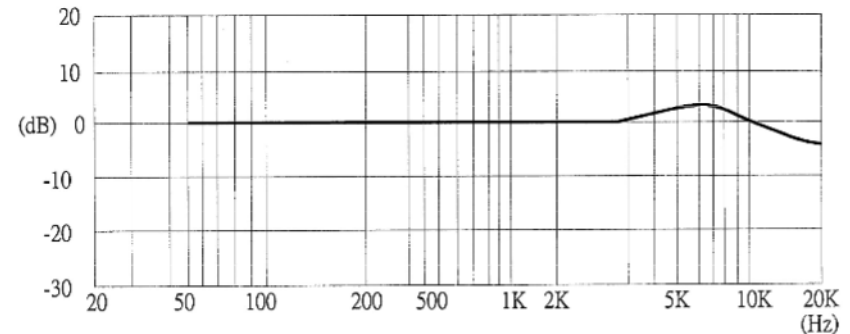
**PART NUMBER:** CMA-4544PF-W

**DESCRIPTION:** electret condenser microphone

### MEASUREMENT CIRCUIT



### FREQUENCY RESPONSE CURVE





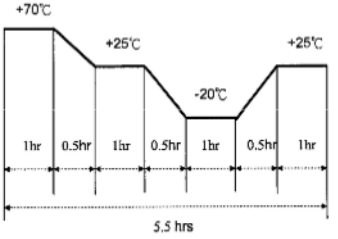
**PART NUMBER:** CMA-4544PF-W

**DESCRIPTION:** electret condenser microphone

**MECHANICAL CHARACTERISTICS**

item	test condition	evaluation standard
soldering heat resistance	Lead terminals are immersed in solder bath of 270 ±5°C for 2 ±0.5 seconds.	No interference in operation.
PCB wire pull strength	The pull force will be applied to double lead wire: Horizontal 4.9N (0.5kg) for 30 seconds	No damage or cutting off.
vibration	The part will be measured after applying a vibration amplitude of 1.5 mm with 10 to 55 Hz band of vibration frequency to each of the 3 perpendicular directions for 2 hours.	After any tests, the sensitivity should be within ±3dB compared to the initial measurement.
drop test	The part will be dropped from a height of 1 m onto a 20 mm thick wooden board 3 times in 3 axes (X, Y, Z) for a total of 9 drops.	

**ENVIRONMENT TEST**

item	test condition	evaluation standard
high temp. test	After being placed in a chamber at +70°C for 72 hours.	The part will be measured after being placed at +25°C for 6 hours. After any tests, the sensitivity should be within ±3dB compared to the initial measurement.
low temp. test	After being placed in a chamber at -20°C for 72 hours.	
humidity test	After being placed in a chamber at +40°C and 90±5% relative humidity for 240 hours.	
temp. cycle test	The part shall be subjected to 10 cycles. One cycle will consist of:  	

**TEST CONDITIONS**

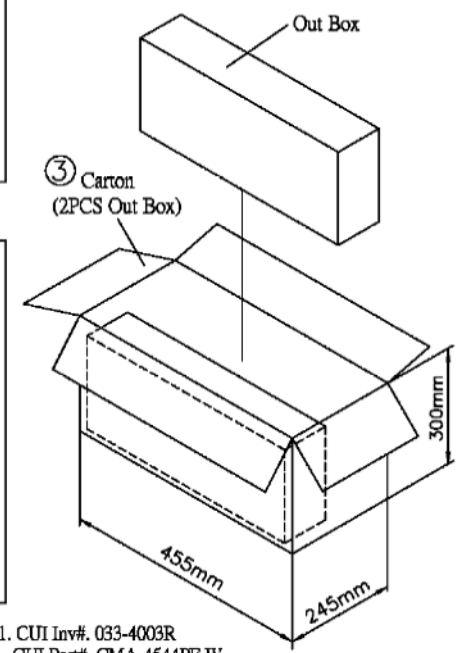
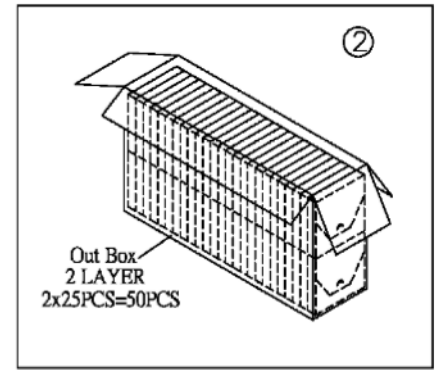
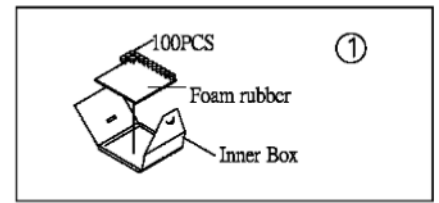
standard test condition	a) temperature: +5 ~ +35°C	b) humidity: 45 - 85%	c) pressure: 860-1060 mbar
judgement test condition	a) temperature: +25 ±2°C	b) humidity: 60 - 70%	c) pressure: 860-1060 mbar



**PART NUMBER:** CMA-4544PF-W

**DESCRIPTION:** electret condenser microphone

**PACKAGING**



1. CUI Inv# 033-4003R  
CUI Part# CMA-4544PF-W
2. RoHS Compliant

Inner Box	100mmx100mmx15mm	100PCSx1=100PCS
Out Box	435mmx120mmx280mm	100PCSx50=5,000PCS
Carton Box	455mmx245mmx300mm	5,000PCSx2=10,000PCS





# Datasheet LM385-N



LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N

www.ti.com

SNOSBT3H – JANUARY 2000 – REVISED MARCH 2013

## LM158/LM258/LM358/LM2904 Low Power Dual Operational Amplifiers

Check for Samples: [LM158-N](#), [LM258-N](#), [LM2904-N](#), [LM358-N](#)

### FEATURES

- Available in 8-Bump DSBGA Chip-Sized Package, (See AN-1112 ([SNVA009](#)))
- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain: 100 dB
- Wide Bandwidth (Unity Gain): 1 MHz (Temperature Compensated)
- Wide Power Supply Range:
  - Single Supply: 3V to 32V
  - Or Dual Supplies:  $\pm 1.5V$  to  $\pm 16V$
- Very Low Supply Current Drain (500  $\mu A$ )—Essentially Independent of Supply Voltage
- Low Input Offset Voltage: 2 mV
- Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground
- Differential Input Voltage Range Equal to the Power Supply Voltage
- Large Output Voltage Swing

### UNIQUE CHARACTERISTICS

- In the Linear Mode the Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground and the Output Voltage Can Also Swing to Ground, even though Operated from Only a Single Power Supply Voltage.
- The Unity Gain Cross Frequency is Temperature Compensated.
- The Input Bias Current is also Temperature Compensated.

### ADVANTAGES

- Two Internally Compensated Op Amps
- Eliminates Need for Dual Supplies
- Allows Direct Sensing Near GND and  $V_{OUT}$  Also Goes to GND
- Compatible with All Forms of Logic
- Power Drain Suitable for Battery Operation

### DESCRIPTION

The LM158 series consists of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM158 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional  $\pm 15V$  power supplies.

The LM358 and LM2904 are available in a chip sized package (8-Bump DSBGA) using TI's DSBGA package technology.

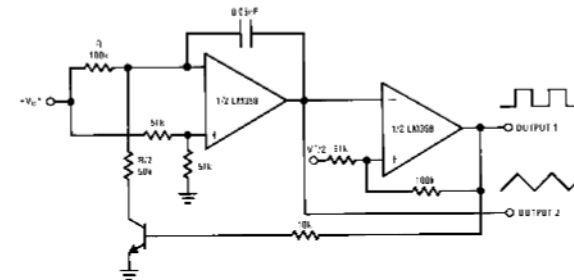
LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N



SNOSBT3H – JANUARY 2000 – REVISED MARCH 2013

www.ti.com

### Voltage Controlled Oscillator (VCO)



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet. All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2000–2013, Texas Instruments Incorporated

2 [Submit Documentation Feedback](#)

Copyright © 2000–2013, Texas Instruments Incorporated

Product Folder Links: [LM158-N](#) [LM258-N](#) [LM2904-N](#) [LM358-N](#)



## LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N

www.ti.com

SNOSBT3H – JANUARY 2000 – REVISED MARCH 2013

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS<sup>(1)(2)</sup>

	LM158/LM258/LM358 LM158A/LM258A/LM358A	LM2904
Supply Voltage, V*	32V	26V
Differential Input Voltage	32V	26V
Input Voltage	-0.3V to +32V	-0.3V to +26V
Power Dissipation <sup>(3)</sup>		
PDIP (P)	830 mW	830 mW
TO-99 (LMC)	550 mW	
SOIC (D)	530 mW	530 mW
DSBGA (YPB)	435mW	
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) <sup>(4)</sup>	V* ≤ 15V and T <sub>A</sub> = 25°C	Continuous
Input Current (V <sub>IN</sub> < -0.3V) <sup>(5)</sup>	50 mA	50 mA
Operating Temperature Range		
LM358	0°C to +70°C	-40°C to +85°C
LM258	-25°C to +85°C	
LM158	-55°C to +125°C	
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Lead Temperature, PDIP (P)		
(Soldering, 10 seconds)	260°C	260°C
Lead Temperature, TO-99 (LMC)		
(Soldering, 10 seconds)	300°C	300°C
Soldering Information		
PDIP Package (P)		
Soldering (10 seconds)	260°C	260°C
SOIC Package (D)		
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C	220°C
ESD Tolerance <sup>(6)</sup>	250V	250V

- Refer to RETS158AX for LM158A military specifications and to RETS158X for LM158 military specifications.
- If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the TI Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- For operating at high temperatures, the LM358/LM358A, LM2904 must be derated based on a +125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 120°C/W for PDIP, 182°C/W for TO-99, 189°C/W for SOIC package, and 230°C/W for DSBGA, which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM258/LM258A and LM158/LM158A can be derated based on a +150°C maximum junction temperature. The dissipation is the total of both amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.
- Short circuits from the output to V\* can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V\*. At values of supply voltage in excess of +15V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.
- This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V\* voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than -0.3V (at 25°C).
- Human body model, 1.5 kΩ in series with 100 pF.



## LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N

SNOSBT3H – JANUARY 2000 – REVISED MARCH 2013

www.ti.com

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V\* = +5.0V, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	<sup>(1)</sup> , T <sub>A</sub> = 25°C		1	2		2	3		2	5	mV
Input Bias Current	I <sub>IN(+)</sub> or I <sub>IN(-)</sub> , T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>CM</sub> = 0V, <sup>(2)</sup>		20	50		45	100		45	150	nA
Input Offset Current	I <sub>IN(+)</sub> - I <sub>IN(-)</sub> , V <sub>CM</sub> = 0V, T <sub>A</sub> = 25°C		2	10		5	30		3	30	nA
Input Common-Mode Voltage Range	V* = 30V, <sup>(3)</sup>	0		V*-1.5	0		V*-1.5	0		V*-1.5	V
Voltage Range	(LM2904, V* = 26V), T <sub>A</sub> = 25°C										
Supply Current	Over Full Temperature Range										
	R <sub>L</sub> = ∞ on All Op Amps										
	V* = 30V (LM2904 V* = 26V)		1	2		1	2		1	2	mA
	V* = 5V		0.5	1.2		0.5	1.2		0.5	1.2	mA

- V<sub>GS</sub> = 1.4V, R<sub>S</sub> = 0Ω with V\* from 5V to 30V; and over the full input common-mode range (0V to V\* -1.5V) at 25°C. For LM2904, V\* from 5V to 26V.
- The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.
- The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is V\* -1.5V (at 25°C), but either or both inputs can go to +32V without damage (+26V for LM2904), independent of the magnitude of V\*.

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V\* = +5.0V, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM358			LM2904			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	See <sup>(1)</sup> , T <sub>A</sub> = 25°C		2	7		2	7	mV
Input Bias Current	I <sub>IN(+)</sub> or I <sub>IN(-)</sub> , T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>CM</sub> = 0V, See <sup>(2)</sup>		45	250		45	250	nA
Input Offset Current	I <sub>IN(+)</sub> - I <sub>IN(-)</sub> , V <sub>CM</sub> = 0V, T <sub>A</sub> = 25°C		5	50		5	50	nA
Input Common-Mode Voltage Range	V* = 30V, See <sup>(3)</sup> (LM2904, V* = 26V), T <sub>A</sub> = 25°C	0		V*-1.5	0		V*-1.5	V
Supply Current	Over Full Temperature Range							
	R <sub>L</sub> = ∞ on All Op Amps							
	V* = 30V (LM2904 V* = 26V)		1	2		1	2	mA
	V* = 5V		0.5	1.2		0.5	1.2	mA

- V<sub>GS</sub> = 1.4V, R<sub>S</sub> = 0Ω with V\* from 5V to 30V; and over the full input common-mode range (0V to V\* -1.5V) at 25°C. For LM2904, V\* from 5V to 26V.
- The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.
- The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is V\* -1.5V (at 25°C), but either or both inputs can go to +32V without damage (+26V for LM2904), independent of the magnitude of V\*.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**
 $V^+ = +5.0V$ , See<sup>(1)</sup>, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15V$ , $T_A = 25^\circ C$ , $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ , (For $V_O = 1V$ to $11V$ )	50	100		25	100		50	100		V/mV	
Common-Mode Rejection Ratio	$T_A = 25^\circ C$ , $V_{CM} = 0V$ to $V^+ - 1.5V$	70	85		65	85		70	85		dB	
Power Supply Rejection Ratio	$V^+ = 5V$ to $30V$ , (LM2904, $V^+ = 5V$ to $26V$ ), $T_A = 25^\circ C$	65	100		65	100		65	100		dB	
Amplifier-to-Amplifier Coupling	$f = 1\text{ kHz}$ to $20\text{ kHz}$ , $T_A = 25^\circ C$ (Input Referred), See <sup>(2)</sup>		-120			-120			-120		dB	
Output Current	Source $V_{IN}^+ = 1V$ , $V_{IN}^- = 0V$ , $V^+ = 15V$ , $V_O = 2V$ , $T_A = 25^\circ C$		20	40		20	40		20	40	mA	
		Sink $V_{IN}^- = 1V$ , $V_{IN}^+ = 0V$ , $V^+ = 15V$ , $T_A = 25^\circ C$ , $V_O = 2V$		10	20		10	20		10	20	mA
				12	50		12	50		12	50	$\mu A$
Short Circuit to Ground	$T_A = 25^\circ C$ , See <sup>(3)</sup> , $V^+ = 15V$	40	60		40	60		40	60		mA	
Input Offset Voltage	See <sup>(4)</sup>		4		5		7				mV	
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$		7	15		7	20		7		$\mu V/^\circ C$	
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$			30		75			100		nA	
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$		10	200		10	300		10		$\mu A/^\circ C$	
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$		40	100		40	200		40	300	nA	
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$ , See <sup>(5)</sup> (LM2904, $V^+ = 26V$ )	0		$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$		V	
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15V$		25			15			25		V/mV	
	$(V_O = 1V$ to $11V)$ , $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$											
Output Voltage	$V_{OH}$ $V^+ = +30V$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$		26		26		26		26		V	
Voltage Swing	(LM2904, $V^+ = 26V$ ) $V^+ = 5V$ , $R_L = 10\text{ k}\Omega$		27	28		27	28		27	28	V	
Swing	$V^+ = 5V$ , $R_L = 10\text{ k}\Omega$		5	20		5	20		5	20	mV	

- These specifications are limited to  $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$  for the LM158/LM158A. With the LM258/LM258A, all temperature specifications are limited to  $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ , the LM358/LM358A temperature specifications are limited to  $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$ , and the LM2904 specifications are limited to  $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ .
- Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.
- Short circuits from the output to  $V^+$  can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of  $V^+$ . At values of supply voltage in excess of +15V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.
- $V_O = 1.4V$ ,  $R_S = 0\Omega$  with  $V^+$  from 5V to 30V; and over the full input common-mode range (0V to  $V^+ - 1.5V$ ) at 25°C. For LM2904,  $V^+$  from 5V to 26V.
- The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is  $V^+ - 1.5V$  (at 25°C), but either or both inputs can go to +32V without damage (+26V for LM2904), independent of the magnitude of  $V^+$ .

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)**
 $V^+ = +5.0V$ , See<sup>(1)</sup>, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Current	Source $V_{IN}^+ = +1V$ , $V_{IN}^- = 0V$ , $V^+ = 15V$ , $V_O = 2V$	10	20		10	20		10	20		mA
	Sink $V_{IN}^- = +1V$ , $V_{IN}^+ = 0V$ , $V^+ = 15V$ , $V_O = 2V$	10	15		5	8		5	8		mA

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**
 $V^+ = +5.0V$ , See<sup>(1)</sup>, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM358			LM2904			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15V$ , $T_A = 25^\circ C$ , $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ , (For $V_O = 1V$ to $11V$ )	25	100		25	100		V/mV	
Common-Mode Rejection Ratio	$T_A = 25^\circ C$ , $V_{CM} = 0V$ to $V^+ - 1.5V$	65	85		50	70		dB	
Power Supply Rejection Ratio	$V^+ = 5V$ to $30V$ , (LM2904, $V^+ = 5V$ to $26V$ ), $T_A = 25^\circ C$	65	100		50	100		dB	
Amplifier-to-Amplifier Coupling	$f = 1\text{ kHz}$ to $20\text{ kHz}$ , $T_A = 25^\circ C$ (Input Referred), See <sup>(2)</sup>		-120			-120		dB	
Output Current	Source $V_{IN}^+ = 1V$ , $V_{IN}^- = 0V$ , $V^+ = 15V$ , $V_O = 2V$ , $T_A = 25^\circ C$		20	40		20	40	mA	
		Sink $V_{IN}^- = 1V$ , $V_{IN}^+ = 0V$ , $V^+ = 15V$ , $T_A = 25^\circ C$ , $V_O = 2V$		10	20		10	20	mA
				12	50		12	50	$\mu A$
Short Circuit to Ground	$T_A = 25^\circ C$ , See <sup>(3)</sup> , $V^+ = 15V$	40	60		40	60		mA	
Input Offset Voltage	See <sup>(4)</sup>			9		10		mV	
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$		7		7			$\mu V/^\circ C$	
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$			150		45	200	nA	
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$		10		10			$\mu A/^\circ C$	
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$		40	500		40	500	nA	
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$ , See <sup>(5)</sup> (LM2904, $V^+ = 26V$ )	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	V	

- These specifications are limited to  $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$  for the LM158/LM158A. With the LM258/LM258A, all temperature specifications are limited to  $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ , the LM358/LM358A temperature specifications are limited to  $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$ , and the LM2904 specifications are limited to  $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ .
- Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.
- Short circuits from the output to  $V^+$  can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of  $V^+$ . At values of supply voltage in excess of +15V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.
- $V_O = 1.4V$ ,  $R_S = 0\Omega$  with  $V^+$  from 5V to 30V; and over the full input common-mode range (0V to  $V^+ - 1.5V$ ) at 25°C. For LM2904,  $V^+$  from 5V to 26V.
- The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is  $V^+ - 1.5V$  (at 25°C), but either or both inputs can go to +32V without damage (+26V for LM2904), independent of the magnitude of  $V^+$ .

LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N



SNOSBT3H – JANUARY 2000 – REVISED MARCH 2013

www.ti.com

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

V<sup>+</sup> = +5.0V, See<sup>(1)</sup>, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Current	Source V <sub>IN+</sub> <sup>+</sup> = +1V, V <sub>IN-</sub> <sup>-</sup> = 0V, V <sup>+</sup> = 15V, V <sub>O</sub> = 2V	10	20		10	20		10	20		mA
	Sink V <sub>IN-</sub> <sup>-</sup> = +1V, V <sub>IN+</sub> <sup>+</sup> = 0V, V <sup>+</sup> = 15V, V <sub>O</sub> = 2V	10	15		5	8		5	8		mA

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V<sup>+</sup> = +5.0V, See<sup>(1)</sup>, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM358			LM2904			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage	V <sup>+</sup> = 15V, T <sub>A</sub> = 25°C							
Gain	R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ, (For V <sub>O</sub> = 1V to 11V)	25	100		25	100		V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	T <sub>A</sub> = 25°C	65	85		50	70		dB
	V <sub>CM</sub> = 0V to V <sup>+</sup> - 1.5V							
Power Supply Rejection Ratio	V <sup>+</sup> = 5V to 30V (LM2904, V <sup>+</sup> = 5V to 26V), T <sub>A</sub> = 25°C	65	100		50	100		dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling	f = 1 kHz to 20 kHz, T <sub>A</sub> = 25°C (Input Referred), See <sup>(2)</sup>		-120			-120		dB
Output Current	Source V <sub>IN+</sub> <sup>+</sup> = 1V, V <sub>IN-</sub> <sup>-</sup> = 0V, V <sup>+</sup> = 15V, V <sub>O</sub> = 2V, T <sub>A</sub> = 25°C		20	40		20	40	mA
	Sink V <sub>IN-</sub> <sup>-</sup> = 1V, V <sub>IN+</sub> <sup>+</sup> = 0V V <sup>+</sup> = 15V, T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>O</sub> = 2V		10	20		10	20	mA
	V <sub>IN+</sub> <sup>+</sup> = 0V T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>O</sub> = 200 mV, V <sup>+</sup> = 15V	12	50		12	50	μA	
Short Circuit to Ground	T <sub>A</sub> = 25°C, See <sup>(3)</sup> , V <sup>+</sup> = 15V	40	60		40	60	mA	
Input Offset Voltage	See <sup>(4)</sup>			9			10	mV
Input Offset Voltage Drift	R <sub>S</sub> = 0Ω		7			7		μV/°C
Input Offset Current	I <sub>IN(+)</sub> - I <sub>IN(-)</sub>			150		45	200	nA
Input Offset Current Drift	R <sub>S</sub> = 0Ω		10			10		pA/°C
Input Bias Current	I <sub>IN(+)</sub> or I <sub>IN(-)</sub>		40	500		40	500	nA
Input Common-Mode Voltage Range	V <sup>+</sup> = 30 V, See <sup>(5)</sup> (LM2904, V <sup>+</sup> = 26V)	0		V <sup>+</sup> - 2	0		V <sup>+</sup> - 2	V

- These specifications are limited to -55°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +125°C for the LM158/LM158A. With the LM258/LM258A, all temperature specifications are limited to -25°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +85°C, the LM358/LM358A temperature specifications are limited to 0°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +70°C, and the LM2904 specifications are limited to -40°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +85°C.
- Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.
- Short circuits from the output to V<sup>+</sup> can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V<sup>+</sup>. At values of supply voltage in excess of +15V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.
- V<sub>O</sub> = 1.4V, R<sub>S</sub> = 0Ω with V<sup>+</sup> from 5V to 30V; and over the full input common-mode range (0V to V<sup>+</sup> - 1.5V) at 25°C. For LM2904, V<sup>+</sup> from 5V to 26V.
- The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is V<sup>+</sup> - 1.5V (at 25°C), but either or both inputs can go to +32V without damage (+26V for LM2904), independent of the magnitude of V<sup>+</sup>.

LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N



SNOSBT3H – JANUARY 2000 – REVISED MARCH 2013

www.ti.com

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

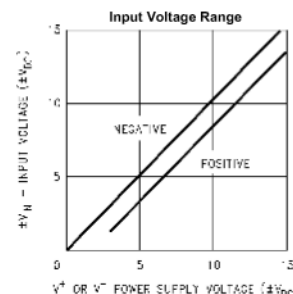


Figure 1.

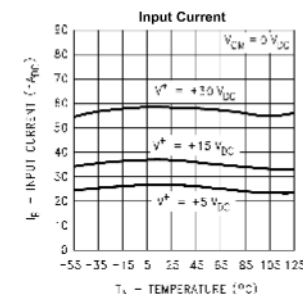


Figure 2.

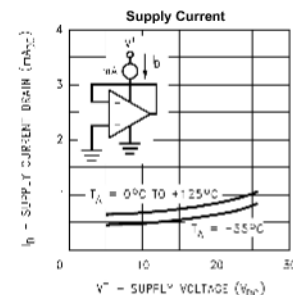


Figure 3.

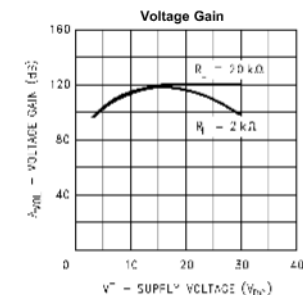


Figure 4.

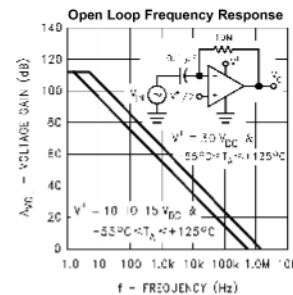


Figure 5.

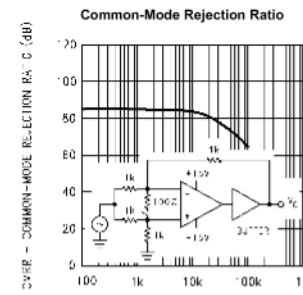
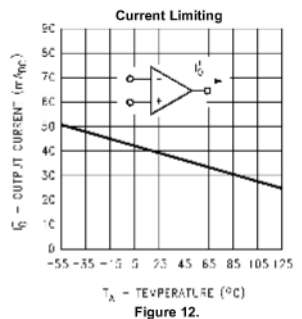
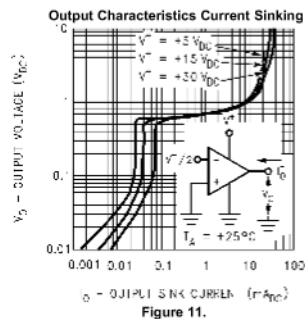
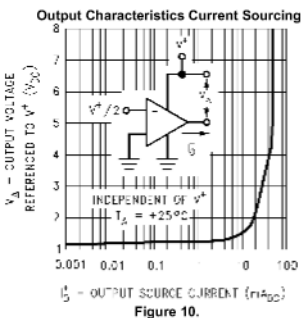
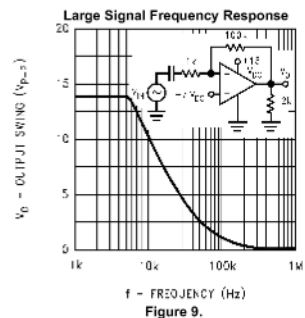
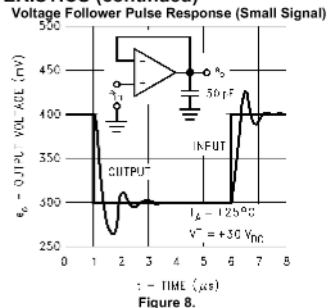
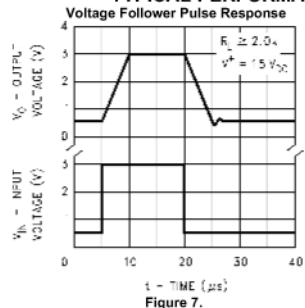
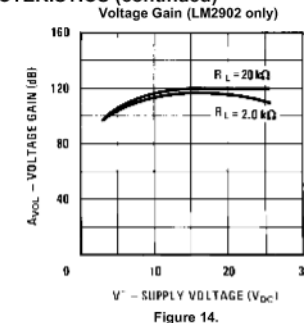
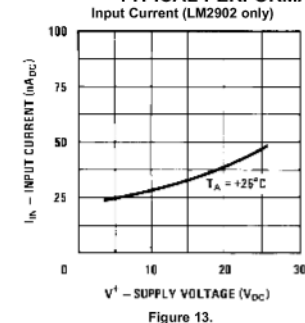


Figure 6.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (continued)



TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (continued)





APPLICATION HINTS

The LM158 series are op amps which operate with only a single power supply voltage, have true-differential inputs, and remain in the linear mode with an input common-mode voltage of 0 V<sub>DC</sub>. These amplifiers operate over a wide range of power supply voltage with little change in performance characteristics. At 25°C amplifier operation is possible down to a minimum supply voltage of 2.3 V<sub>DC</sub>.

Precautions should be taken to insure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a test socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

Large differential input voltages can be easily accommodated and, as input differential voltage protection diodes are not needed, no large input currents result from large differential input voltages. The differential input voltage may be larger than V<sup>+</sup> without damaging the device. Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than -0.3 V<sub>DC</sub> (at 25°C). An input clamp diode with a resistor to the IC input terminal can be used.

To reduce the power supply current drain, the amplifiers have a class A output stage for small signal levels which converts to class B in a large signal mode. This allows the amplifiers to both source and sink large output currents. Therefore both NPN and PNP external current boost transistors can be used to extend the power capability of the basic amplifiers. The output voltage needs to raise approximately 1 diode drop above ground to bias the on-chip vertical PNP transistor for output current sinking applications.

For ac applications, where the load is capacitively coupled to the output of the amplifier, a resistor should be used, from the output of the amplifier to ground to increase the class A bias current and prevent crossover distortion. Where the load is directly coupled, as in dc applications, there is no crossover distortion.

Capacitive loads which are applied directly to the output of the amplifier reduce the loop stability margin. Values of 50 pF can be accommodated using the worst-case non-inverting unity gain connection. Large closed loop gains or resistive isolation should be used if larger load capacitance must be driven by the amplifier.

The bias network of the LM158 establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of 3 V<sub>DC</sub> to 30 V<sub>DC</sub>.

Output short circuits either to ground or to the positive power supply should be of short time duration. Units can be destroyed, not as a result of the short circuit current causing metal fusing, but rather due to the large increase in IC chip dissipation which will cause eventual failure due to excessive junction temperatures. Putting direct short-circuits on more than one amplifier at a time will increase the total IC power dissipation to destructive levels, if not properly protected with external dissipation limiting resistors in series with the output leads of the amplifiers. The larger value of output source current which is available at 25°C provides a larger output current capability at elevated temperatures (see TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS) than a standard IC op amp.

The circuits presented in the TYPICAL SINGLE-SUPPLY APPLICATIONS emphasize operation on only a single power supply voltage. If complementary power supplies are available, all of the standard op amp circuits can be used. In general, introducing a pseudo-ground (a bias voltage reference of V<sup>+</sup>/2) will allow operation above and below this value in single power supply systems. Many application circuits are shown which take advantage of the wide input common-mode voltage range which includes ground. In most cases, input biasing is not required and input voltages which range to ground can easily be accommodated.

CONNECTION DIAGRAM

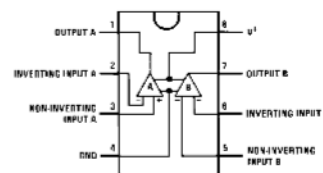


Figure 15. PDIP/CDIP/SOIC Package – Top View (See Package Number P, NAB0008A, or D)

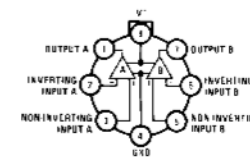


Figure 16. TO-99 Package – Top View (See Package Number LMC)

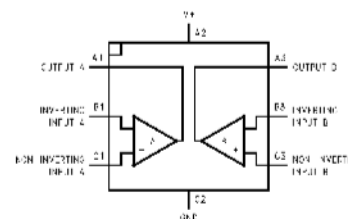
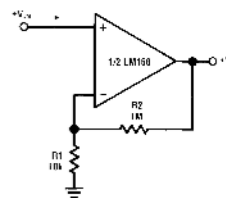


Figure 17. 8-Bump DSBGA - Top View, Bump Side Down (See Package Number YPB0008AAA)

TYPICAL SINGLE-SUPPLY APPLICATIONS

(V<sup>+</sup> = 5.0 V<sub>DC</sub>)

Figure 18. Non-Inverting DC Gain (0V Output)



\*R<sub>2</sub> not needed due to temperature independent I<sub>IN</sub>

