

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kontes Robot Seni Tari Indonesia (KRSTI)**

Kontes Robot Seni Tari Indonesia (KRSTI) merupakan suatu ajang kompetisi perancangan dan pembuatan robot yang disertai dengan unsur-unsur seni dan budaya bangsa yang telah terkenal di bumi pertiwi. KRSTI pertama kali diadakan pada tahun 2009 yang mengangkat tema "Robot Penari Jaipong", tahun 2010 dengan mengangkat tema "Robot Penari Pendet", tahun 2011 dengan mengangkat tema "Robot Penari Kelono Topeng", tahun 2012 mengangkat tema "Robot Penari Piring", tahun 2013 mengangkat tema "Robot Anoman Duto", tahun 2014 mengangkat tema "Robot Penari Legong Keraton", dan tahun 2015 mengangkat tema "Robot Penari Bambang Cakil". Untuk KRSTI 2016, sesuai dengan momentum yang tepat dalam gemas Nasional membangkitkan kecintaan dan pelestarian budaya- budaya Nasional maka tema yang diangkat adalah "Robot Penari *Topeng Betawi*".

Kegiatan KRSTI 2016 ini dilaksanakan disetiap Regional sesuai dengan jadwal dan Nasional pada tanggal 2-5 Juni 2016 yang dikoordinasi dan didanai oleh Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementrian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi bekerjasama dengan institusi Perguruan Tinggi yang ditunjuk. Tujuan dari kontes robot ini adalah untuk menumbuhkan-kembangkan kreatifitas dan minat para mahasiswa dalam teknologi, khususnya teknologi robotika yang selain diperuntukkan bagi industri juga diharapkan dapat membantu kegiatan manusia sehari-hari, termasuk meningkatkan kepekaan mahasiswa terhadap seni budaya khususnya seni tari (Ristekdikti, 2015, p. 20).

Robot penari yang digunakan harus menyerupai struktur tubuh manusia dengan tinggi  $55\pm 5$ 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 23 (dua puluh tiga). Berat robot total maksimum adalah 30kg. 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 (Ristekdikti, 2015, p.22).

Setiap tim diharuskan *membuat robot humanoid sendiri*, maksimum dengan dua robot otomatis dan mampu melakukan gerak tari untuk mengikuti musik kesenian “*Topeng Betawi*”. Robot yang dibuat harus memiliki kemampuan gerak mengikuti alunan musik yang dimainkan saat lomba berlangsung. Robot harus dirancang untuk dapat mendengar alunan musik melalui “*Bluetooth*” (Prabowo, 2015, p.9).



Gambar 2.1 Robot penari dalam perlombaan KRSTI 2016: Tim Reena-Rajwa dari Universitas Brawijaya

## 2.2 Sinyal

Secara umum, sinyal didefinisikan sebagai suatu besaran fisis yang merupakan fungsi waktu, ruangan, atau beberapa variabel. Contoh dari sinyal adalah sebagai berikut:

- Tegangan listrik ( $V$ ) sebagai fungsi waktu.
- Potensial listrik adalah fungsi dari posisi pada suatu ruang 3 dimensi.
- Intensitas sebagai fungsi dari koordinat  $x$ ,  $y$ , dan waktu.

Sinyal dapat direpresentasikan secara matematik, misalnya:

$$\delta_1(t) = 5t \text{ (linier)} \quad (2-1)$$

$$\delta_{21}(t) = 20t^2 + 5t \text{ (nonlinier berbanding kuadrat)} \quad (2-2)$$

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

Sinyal- sinyal di atas adalah sinyal yang dapat didefinisikan dengan suatu fungsi yang jelas. Dalam beberapa kasus, sinyal tidak dapat dilihat hubungan fungsinya secara nyata dan sangat kompleks. Contohnya sinyal pembicaraan seperti terlihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Contoh sinyal suara

Sumber : Tanudjaja (2007,p.1)

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, perbedaan fase, dan gangguan akibat *noise*. Untuk mengamati informasi tersebut, dapat digunakan secara langsung dengan peralatan ukur elektronik seperti osiloskop, spektrum analyser. Peralatan tersebut bekerja dengan memanfaatkan model matematik dari sinyal tersebut.

Pengolahan sinyal adalah suatu operasi matematik yang dilakukan terhadap suatu sinyal sehingga diperoleh suatu informasi yang berguna. Dalam hal ini terjadi suatu transformasi. Pengolahan sinyal dapat dilakukan secara analog atau digital. Pengolahan sinyal analog memanfaatkan komponen- komponen analog, misal dioda, transistor, Op-amp dan lainnya. Pengolahan sinyal secara digital menggunakan komponen- komponen digital, register, *counter*, dekoder, *summing*, mikroprosesor, mikrokontroler dan lainnya. Untuk kemudahan pengolahan sinyal digital sebagai pemroses digunakan suatu komputer (mikrokontroler) untuk merepresentasikan algoritma atau model matematik. Selain sistem komputer diperlukan perangkat keras lainnya sebagai masukan/ keluaran (Tanudjaja, 2007, pp.1-2).

Suatu sinyal listrik dapat direpresentasikan sebagai getaran. Pada umumnya sinyal dinyatakan dalam bentuk tegangan atau arus. Persamaan umum sinyal sinus dapat dinyatakan dalam Persamaan 2.4.

$$y = A \sin(\omega\tau + \varphi) \quad (2-4)$$

dengan:

$y$  : simpangan sesaat getaran

A: simpangan getaran

: frekuensi sudut

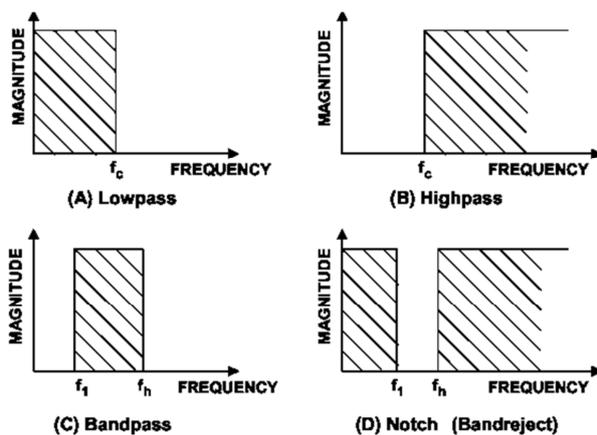
: fasa getaran

### 2.3 Penapis (*Filter*)

Sebuah penyaring atau tapis (*filter*) didefinisikan sebagai rangkaian atau jaringan listrik yang dirancang untuk melewatkan atau meloloskan arus bolak- balik yang dibangkitkan pada frekuensi tertentu serta memblok atau memperlemah semua arus bolak- balik yang dibangkitkan dengan frekuensi- frekuensi yang lain. Secara garis besar terdapat dua tipe generik tapis yaitu tapis pasif dan tapis aktif. Tapis tipe yang pertama yaitu tapis pasif, terdiri atas komponen- komponen rangkaian yang berupa resistor, kapasitor dan induktor. Sementara tapis tipe yang kedua yaitu tapis aktif, disamping terdiri atas komponen- komponen rangkaian yang berupa resistor, kapasitor dan induktor, pada tapis ini terdapat pula komponen tambahan yang berupa komponen aktif yang biasanya diwujudkan oleh

komponen *Op-Amp*. Kedua tipe tapis ini dapat dibagi lebih lanjut menjadi empat kelas yang berbeda sesuai dengan penggunaannya masing-masing. Keempat kelas tapis ini adalah tapis *low-pass*, *high-pass*, *band-pass* dan *band-stop* (Clayton & Winder, 2003, p.250).

Sebuah *filter* ideal akan memiliki respons amplitudo yang seragam (atau dalam penguatan tetap) pada frekuensi yang diinginkan (disebut dengan *passband*) dan nol pada frekuensi lainnya (disebut dengan *stopband*). Frekuensi dimana respons berubah dari *passband* ke *stopband* disebut dengan frekuensi *cutoff*. Respons *filter* ideal ditunjukkan pada Gambar 2.3.

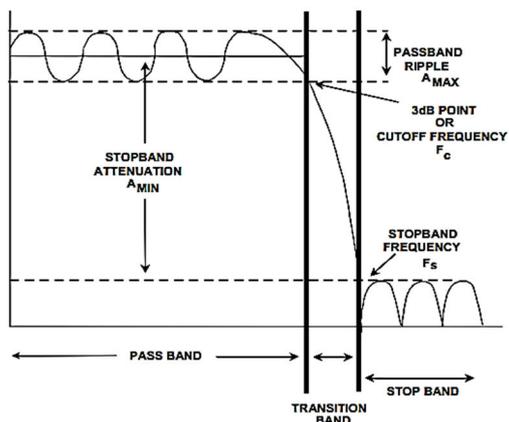


Gambar 2.3 Respons *filter* ideal

Sumber: Zumbahlen (2005,p.2)

Gambar 2.3a menunjukkan sebuah *lowpass filter* ideal. Pada *filter* ini frekuensi rendah berada pada *passband* dan frekuensi yang lebih tinggi berada pada *stopband*. Yang fungsinya berkebalikan dengan *lowpass filter* adalah *bandpass filter*. Disini, frekuensi rendah berada pada *stopband*, dan frekuensi tinggi berada pada *passband*. Gambar 2.3b menunjukkan *highpass filter* ideal. Jika *highpass filter* dan *lowpass filter* dikaskade, maka dihasilkan *bandpass filter*. *Bandpass filter* melewati rentang frekuensi antara frekuensi *cutoff* bawah  $f_l$ , dan frekuensi *cutoff* atas  $f_h$ . Frekuensi di bawah  $f_l$  dan frekuensi di atas  $f_h$  berada pada *stopband*. Sebuah *bandpass filter* ideal ditunjukkan pada Gambar 2.3c. Kebalikan dari *bandpass filter* adalah *bandreject* atau *notch filter*. Di sini, *passband* berada pada frekuensi di bawah  $f_l$  dan frekuensi di atas  $f_h$ . Rentang antara  $f_l$  dan  $f_h$  berada pada *stopband*. Gambar 2.3d menunjukkan respons *notch*.

*Filter* ideal yang dijelaskan di atas, tidak mudah dibuat. Transisi dari *passband* ke *stopband* tidak bisa seketika, tapi akan ada daerah transisi. Atenuasi (pelemahan) pada *stopband* tidak takhingga. Lima parameter *filter* pada praktik ditunjukkan pada Gambar 2.4.

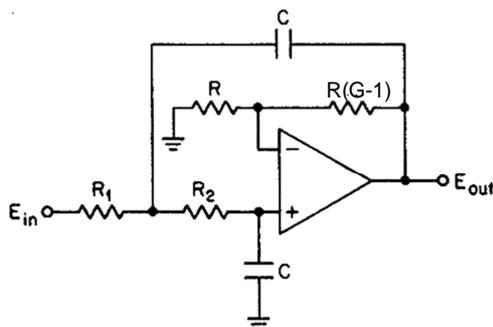


Gambar 2.4 Parameter kunci pada filter

Sumber: Zumbahlen (2005,p.3)

Frekuensi *cutoff* ( $F_C$ ) adalah frekuensi dimana respons filter menghasilkan *error band* (atau pada titik -3dB untuk respons *Butterworth*). Frekuensi *stopband* ( $F_S$ ) adalah frekuensi dimana atenuasi terkecil didapat. *Passband ripple* ( $A_{max}$ ) adalah variasi (*error band*) pada respons *passband*. Atenuasi *passband* minimum ( $A_{min}$ ) merupakan batas atenuasi minimum sinyal dalam *stopband*. Kemiringan filter mendefinisikan orde ( $M$ ) filter.  $M$  juga merupakan jumlah *pole* pada fungsi alih suatu filter, dimana *pole* adalah akar dari denominator pada fungsi alih. Kemiringan atau gradien garis pada *stopband* dinamakan sebagai *rolloff* atau *falloff* dan didefinisikan berdasarkan orde (tingkatan) filter (Zumbahlen, 2005, p.2). Setiap kenaikan orde filter, ketajaman *rolloff* akan meningkat sebesar  $\pm 6\text{dB/oktaf}$  atau  $\pm 20\text{dB/dekade}$ , dimana oktaf memiliki pengertian menggandakan atau membagi dua suatu frekuensi serta dekade adalah sepuluh kali atau sepersepuluh kali suatu frekuensi (Putra, 2002, p.28).

Pada filter orde dua, terdapat dua topologi berdasarkan implementasi kutub masukan yang digunakan pada *Op-Amp*, yaitu topologi Voltage-Controlled Voltage Source (VCVS) yang juga disebut *Sallen-Key* dan topologi *Multiple Feedback* (MFB). Topologi *Sallen-Key* untuk  $2^{\text{nd}}$  *lowpass filter* ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Konfigurasi  $2^{\text{nd}}$  order lowpass filter topologi Sallen- Key

Sumber: Putra (2002,p.63)

Rangkaian penapis lolos- rendah VCVS atau penapis *Sallen- Key* frekuensi *cutoff*-nya ditentukan dengan persamaan:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (2-5)$$

dengan:

$f_c$  = frekuensi *cutoff* dari *filter* (Hz)

R = tahanan atau resistansi ( )

C = kapasitansi (F)

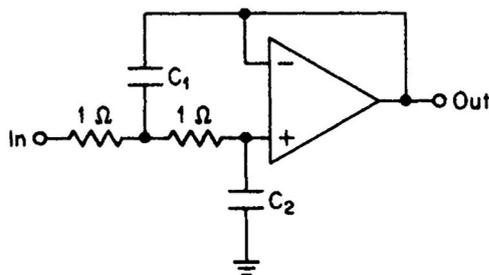
Untuk keperluan komputasi, tanggapan frekuensi dari sembarang *lowpass filter 2nd order* dengan penguatan G berdasarkan Persamaan (2-6) berikut:

$$dB = 20\log_{10} G - 20\log_{10} \sqrt{\omega^4 + (\alpha^2 - 2)\omega^2 + 1} \quad (2-6)$$

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, p.63). Untuk tanggapan *Butterworth* orde kedua, dengan  $\alpha = 1,414$ , Persamaan (2-6) menjadi:

$$dB = 20\log_{10} G - 20\log_{10} \sqrt{\omega^4 + 1} \quad (2-7)$$

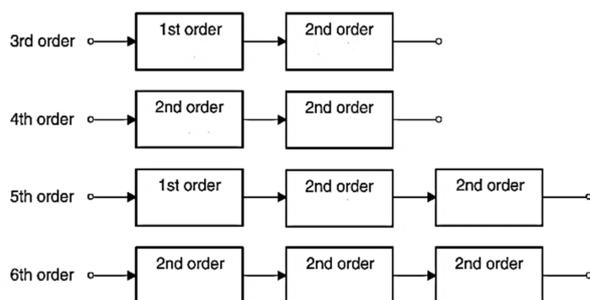
*Op-Amp* dikonfigurasi dalam *voltage follower*, yang memiliki penguatan unitas *loop* tertutup, impedansi *input* tinggi dan impedansi *output* yang mendekati nol. Topologi *Sallen-Key* untuk *2<sup>nd</sup> order lowpass filter* dengan penguatan unitas ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Topologi *Sallen-Key 2<sup>nd</sup> order lowpass filter* dengan penguatan unitas

Sumber: Williams & Taylor (2006, p.104)

*Filter* aktif dengan orde lebih tinggi dari dua (2) dibuat dengan cara menghubungkan secara seri (kaskade) *filter* orde pertama dan kedua. Diagram blok kaskade *filter* orde tinggi ditunjukkan pada Gambar 2.7:



Gambar 2.7 Diagram blok *filter* orde tinggi

Sumber: Putra (2003,p.93)

Untuk mengkaskadekan bagian- bagian *filter* secara benar, maka faktor redaman masing- masing *filter* harus disesuaikan (Putra, 2002, p.93). Tabel 2.1 menunjukkan faktor redaman masing- masing bagian untuk respons *Butterworth*:

Tabel 2.1

Faktor Redaman untuk Mengkaskade *Filter*

Order	Bagian Pertama	Bagian Kedua	Bagian Ketiga
1	1,0000	-	-
2	1,4142	-	-
3	1,0000	1,0000	-
4	1,8478	0,7654	-
5	1,0000	1,6180	0,6180
6	1,9319	1,4142	0,5176

Sumber: Putra (2002,p.93)

*Bandpass filter* terbagi kedalam dua kategori: pita sempit (*narrowband*) dan pita lebar (*wideband*). Jika rasio frekuensi *cutoff* atas dengan frekuensi *cutoff* bawah lebih dari dua (satu oktaf), maka *filter* dianggap tipe pita lebar. Spesifikasi tersebut kemudian dipisah kedalam kebutuhan *lowpass* dan *highpass* yang terpisah kemudian dipertemukan dengan kaskade *lowpass* dan *highpass filter*.

*Bandpass filter* pita sempit umumnya didesain dengan mentransformasikan fungsi alih konfigurasi *lowpass* kedalam rangkaian *bandpass*. Sayangnya tidak ada semacam transformasi rangkaian untuk rangkaian aktif. Pendekatan umumnya dengan mentransformasikan fungsi alih *lowpass* kedalam tipe *bandpass*. *Pole* dan *zero bandpass* selanjutnya diimplementasikan dengan kaskade *bandpass filter* per bagian. Setiap bagian *bandpass* semua kutub memiliki fungsi alih orde dua ditunjukkan pada Persamaan (2-8):

$$T(s) = \frac{Hs}{s^2 + \frac{\omega_r}{Q}s + \omega_r^2} \quad (2-8)$$

dimana:

$r = 2 f_r$  yaitu frekuensi resonansi (rad/detik)

$Q$  = faktor mutu *bandpass* per bagian, dan

$H$  = konstanta penguatan

Untuk frekuensi tengah geometrik *bandpass filter* didapatkan melalui Persamaan (2-9):

$$f_o = \sqrt{f_L f_H} \quad (2-9)$$

dimana  $f_o$  merupakan frekuensi tengah *bandpass* secara geometrik (Hz),  $f_L$  merupakan frekuensi *cutoff* bawah (Hz), dan  $f_H$  merupakan frekuensi *cutoff* atas (Hz). Sehingga dengan menggunakan Persamaan (2-10) nilai faktor mutu  $Q$  *bandpass* dapat dihitung.

$$Q_{BP} = \frac{f_o}{BW} \quad (2-10)$$

dimana  $BW$  adalah lebar *passband*, yaitu  $f_H - f_L$ . Untuk  $Q= 10$  atau lebih respons pada frekuensi tengah kondisinya mendekati simetris secara aritmatik, sehingga  $f_o$  dapat dihitung dengan Persamaan (2-11)

$$f_o = \frac{f_L + f_H}{2} \quad (2-11)$$

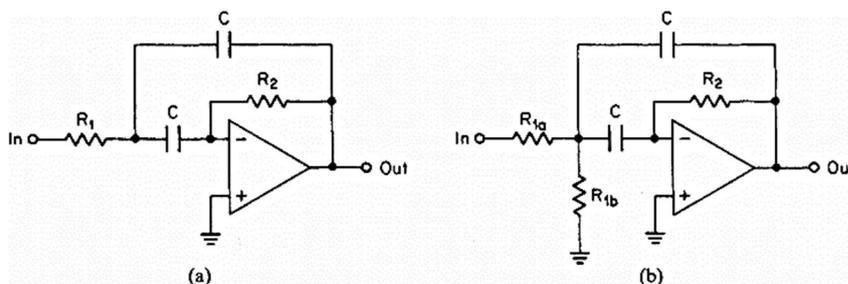
Selain *passband*, spesifikasi *stopband* juga harus memiliki atenuasi yang sama secara geometrik. Setiap pasang frekuensi harus memenuhi persamaan (2-12)

$$f_1 f_2 = f_o^2 \quad (2-12)$$

Faktor ketajaman *bandpass* merupakan perbandingan *stopband bandwidth* dan *passband bandwidth* yang ditunjukkan pada Persamaan (2-13). Rasio yang didapat digunakan untuk menentukan normalisasi *filter*.

$$A_s = \frac{\text{stopband bandwidth}}{\text{passband bandwidth}} \quad (2-13)$$

Setelah didapatkan spesifikasi dari *bandpass filter*, maka *filter* dapat diimplementasikan kedalam rangkaian *filter* aktif. Salah satu topologi yang digunakan untuk *bandpass filter* adalah *Multiple Feedback*. Topologi *Multiple Feedback* untuk  $2^{nd}$  *bandpass filter* ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 *Multiple Feedback 2<sup>nd</sup> order bandpass filter*: (a) rangkaian dasar; dan (b) rangkaian modifikasi  
Sumber: Williams& Taylor (2006,p.207)

Gambar 2.8a merupakan konfigurasi dari *Mutiple Feedback Bandpass*. Fungsi alih rangkaian ini ditunjukkan pada Persamaan (2-14):

$$T(s) = -\frac{sC/R_1}{s^2C^2 + s2C/R_2 + 1/(R_1R_2)} \quad (2-14)$$

Jika dilakukan persamaan fungsi alih di tersebut dengan Persamaan (2-8) maka nilai komponen dapat ditentukan dengan Persamaan (2-15) dan (2-16) yaitu:

$$R_2 = \frac{Q}{\pi f_r C} \quad (2-15)$$

$$R_1 = \frac{R_2}{4Q^2} \quad (2-16)$$

dimana  $Q$  merupakan faktor mutu *bandpass*, dan nilai  $C$  sama. Untuk penguatan pada frekuensi resonansi  $f_r$  dengan Persamaan (2-17):

$$A_r = 2Q^2 \quad (2-17)$$

Topologi ini memiliki kekurangan yaitu terbatasnya nilai  $Q$  yaitu di bawah 20, tergantung tipe penguatan dan rentang frekuensi. Penguatan yang sangat tinggi juga terjadi akibat penguatan berbanding lurus dengan  $Q^2$ . Selain itu, penguatan hanya dipengaruhi  $Q$  sehingga membatasi fleksibilitas. Gambar 2.8b merupakan modifikasi dari rangkaian 2-8a. Resistor *input* dibagi menjadi dua,  $R_{1a}$  dan  $R_{1b}$ , membentuk pembagi tegangan sehingga penguatan dapat dikontrol. Fungsi alih rangkaian modifikasi ditunjukkan dalam Persamaan (2-18):

$$T(s) = -\frac{sR_2C}{s^2R_{1a}R_2C^2 + s2R_{1a}C + (1 + R_{1a}/R_{1b})} \quad (2-18)$$

Nilai dari  $R_{1a}$  dan  $R_{1b}$  didapatkan menggunakan Persamaan (2-19) dan (2-20) yaitu:

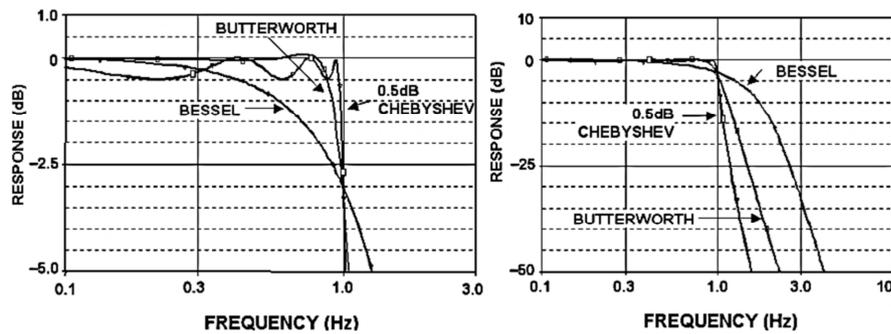
$$R_{1a} = \frac{R_2}{2A_r} \quad (2-19)$$

$$R_{1b} = \frac{R_2/2}{2Q^2 - A_r} \quad (2-20)$$

dimana  $A_r$  adalah penguatan yang diinginkan pada frekuensi resonansi  $f_r$  dan tidak boleh melebihi  $2Q^2$ . Nilai dari  $R_2$  tetap dihitung menggunakan Persamaan (2-15) (Williams& Taylor, 2006).

Menurut Clayton& Winder (2003, p.264), bergantung pada peranan yang diinginkan untuk dijalankan, rangkaian *filter* dapat dirancang agar memiliki respons yang mendekati respons idealnya, umumnya disebut normalisasi *filter*. Adapun perancangan respons diklasifikasikan menjadi *Butterworth filter*, *Chebyshev filter*, *Bessel filter* dan *Elliptic filter*,

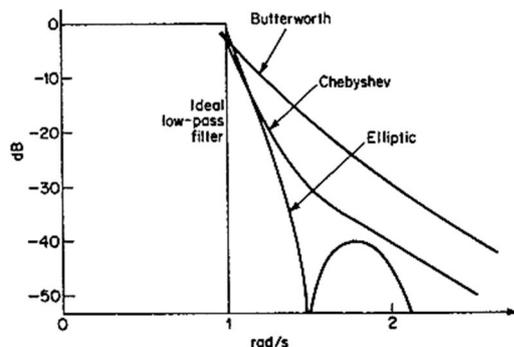
yang memiliki karakteristik masing-masing seperti dijelaskan oleh Zumbahlen (2005, p.19) yang diperlihatkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Perbandingan respons amplitudo orde 5 dari *Bessel*, *Butterworth* dan *Chebyshev filter*

Sumber: Zumbahlen (2005,p.23)

*Butterworth filter* merupakan yang terbaik dalam kompromi antara respons atenuasi dan respon fase. *Filter* ini tidak memiliki *ripple* pada *passband* maupun *stopband*, karenanya *filter* ini sering disebut juga *filter* datar maksimal. *Chebyshev filter* memiliki daerah transisi yang lebih kecil pada orde yang sama dibanding *Butterworth filter*, dan menghasilkan *ripple* pada *passband*. *Bessel filter* menghasilkan respons transien yang lebih baik karena fase yang linier. Namun hal ini menyebabkan respons frekuensi yang lebih buruk dibandingkan *Butterworth* dan *Chebyshev filter*. Sedangkan *Elliptic filter* memiliki daerah transisi yang lebih pendek dari *Chebyshev*, namun menghasilkan *ripple* pada *stopband*, yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.

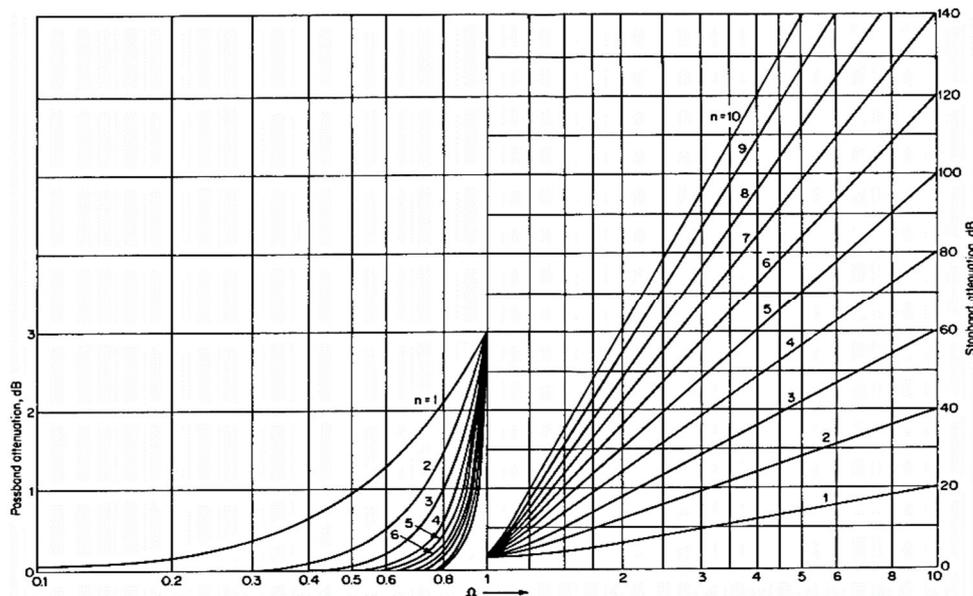


Gambar 2.10 Perbandingan respons amplitudo orde 5 dari *Butterworth*, *Chebyshev* dan *Elliptic filter*

Sumber: Williams& Taylor (2006,p.82)

Untuk merancang *bandpass filter* ternormalisasi, dilakukan beberapa urutan proses.

- 1) Konversi spesifikasi *bandpass* secara aritmatik menjadi geometrik menggunakan Persamaan (2-9) dan (2-10).
- 2) Hitung faktor ketajaman *bandpass*  $A_S$  menggunakan Persamaan (2-13). Nilai  $A_S$  digunakan untuk memilih tipe *filter* ternormalisasi. Gambar 2.11 menunjukkan karakteristik atenuasi dari *Butterworth filter*.



Gambar 2.11 Karakteristik atenuasi dari Butterworth filter

Sumber: Williams& Taylor (2006, p.45)

- 3) Setelah ditentukan tipe filter ternormalisasi yang akan digunakan, cari pole (dan zero) ternormalisasi dari Tabel 2.2. Nilai koordinat yang didapatkan digunakan untuk mentransformasikan kedalam parameter bandpass.

Tabel 2.2

Lokasi Butterworth pole

Order <i>n</i>	Bagian Real -	Bagian Imajiner ±j
2	0,7071	0,7071
3	0,5000 1,0000	0,8660
4	0,9239 0,3827	0,3827 0,9239
5	0,8090 0,3090 1,0000	0,5878 0,9511
6	0,9659 0,7071 0,2588	0,2588 0,7071 0,9659

Sumber: Williams& Taylor (2006,p.425)

- 4) Pilih konfigurasi rangkaian yang akan digunakan dan kaskadekan sesuai kebutuhan.

Pole kompleks pada Tabel 2.2 memiliki bentuk:

$$-\alpha \pm j\beta$$

dimana  $\alpha$  adalah koordinat real dan  $\beta$  adalah bagian imajiner. Dengan  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $Q_{BP}$  dan  $f_o$  diketahui, maka proses perhitungan dapat dilakukan untuk mendapatkan dua nilai  $Q$  dan frekuensi tengah yang mendefinisikan setiap bagian pada bandpass filter:

$$C = \alpha^2 + \beta^2 \quad (2-21)$$

$$D = \frac{2\alpha}{Q_{BP}} \quad (2-22)$$

$$E = \frac{C}{Q_{BP}^2} + 4 \quad (2-23)$$

$$G = \sqrt{E^2 - 4D^2} \quad (2-24)$$

$$Q = \sqrt{\frac{E+G}{2D^2}} \quad (2-25)$$

$$M = \frac{\alpha Q}{Q_{BP}} \quad (2-26)$$

$$W = M + \sqrt{M^2 - 1} \quad (2-27)$$

$$f_{ra} = \frac{f_o}{W} \quad (2-28)$$

$$f_{rb} = Wf_o \quad (2-29)$$

Dua bagian *bandpass* memiliki frekuensi resonansi dari  $f_{ra}$  dan  $f_{rb}$  (dalam Hz), dan nilai  $Q$  yang sama, yang diperoleh dari Persamaan (2-25). Sedangkan untuk *pole* ternormalisasi yang hanya berada pada koordinat real dengan *magnitude*  $\alpha_o$  ditransformasikan kedalam bagian *bandpass* tunggal dengan  $Q$  didapatkan melalui persamaan (2-30):

$$Q = \frac{Q_{BP}}{\alpha_o} \quad (2-30)$$

Penguatan dari salah satu bagian *bandpass* pada frekuensi tengah  $f_o$  ditunjukkan pada Persamaan (2-31):

$$A_0 = \frac{A_r}{\sqrt{1 + Q^2 \left( \frac{f_o}{f_r} - \frac{f_r}{f_o} \right)^2}} \quad (2-31)$$

Dimana  $A_r$  adalah penguatan bagian *bandpass* pada frekuensi  $f_r$  (Williams & Taylor, 2006, p.205). Nilai  $Q$ ,  $f_{ra}$ ,  $f_{rb}$ , dan  $A_r$  digunakan dalam perhitungan pada Persamaan (2-15), (2-19) dan (2-20), untuk mendapatkan nilai komponen yang menghasilkan respons *filter* ternormalisasi.

Untuk keperluan komputasi, penguatan dalam desibel dihitung menggunakan Persamaan (2-32):

$$A_{dB} = 10 \log(1 + \Omega^{2n}) \quad (2-32)$$

dimana  $A_{dB}$  merupakan penguatan *filter* dalam desibel,  $n$  merupakan orde *filter* dan merupakan rasio frekuensi yang ditunjukkan pada Tabel 2.3.  $BW_{3dB}$  adalah 3–dB *bandwidth* atau passband, dan  $BW_x$  adalah *bandwidth* yang diuji. Penentuan nilai  $BW_{3dB}$  dan  $BW_x$  didapatkan dengan menggunakan Persamaan (2-9) dan (2-12) (Williams& Taylor, 2006, p.42).

Tabel 2.3

Rasio frekuensi *filter*

<b>Jenis Filter</b>	
<i>Lowpass</i>	$x/c$
<i>Highpass</i>	$c/x$
<i>Bandpass</i>	$BW_x/BW_{3dB}$
<i>Bandreject</i>	$BW_{3dB}/BW_x$

Sumber: Williams&amp; Taylor (2006,p.43)

Sedangkan nilai penguatan tegangan diperoleh menggunakan Persamaan (2-33)

$$H(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (2-33)$$

dengan  $H(s)$  merupakan penguatan tegangan. Nilai penguatan tegangan diubah kedalam desibel menggunakan Persamaan (2-34) yaitu

$$A_{dB} = 20 \log(H(s)) \quad (2-34)$$

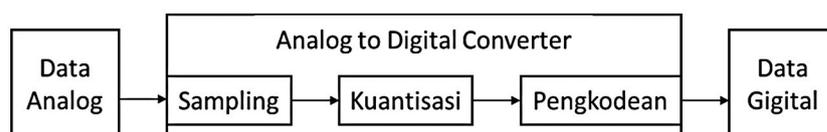
Yang dapat ditransformasi balik dengan Persamaan (2-35)

$$H(s) = 10^{\frac{A_{dB}}{20}} \quad (2-35)$$

Nilai perhitungan digunakan untuk menggambarkan respons amplitudo kedalam grafik.

## 2.4 Analog to Digital Converter (ADC)

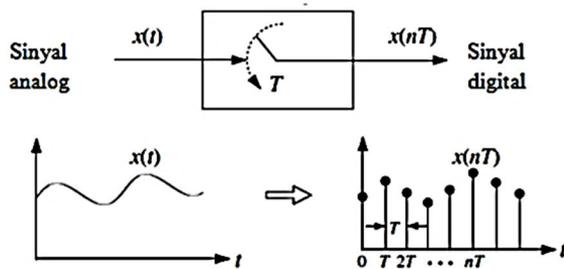
*Analog to Digital Converter* (ADC) adalah suatu perangkat yang mengubah suatu data kontinu terhadap waktu (analog) menjadi suatu data diskrit terhadap waktu (digital). Proses yang terjadi dalam ADC adalah pencuplikan (*sampling*), kuantisasi, dan pengkodean. Proses ADC secara keseluruhan ditunjukkan seperti pada Gambar 2.12:

Gambar 2.12 Proses *Analog to Digital Converter* (ADC)

Sumber: Sophocles (2010, p.3)

Pencuplikan adalah suatu proses mengubah sinyal analog menjadi sinyal diskrit agar sesuai dengan format digital. Dalam Gambar 2.13 ditunjukkan contoh sinyal hasil

pencuplikan (*sampling*) (Sophocles, 2010, p.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.



Gambar 2.13 Pencuplikan Sinyal

Sumber: Sophocles (2010, p.5)

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

$$F_s \geq 2F_{\max} \quad (2-36)$$

dengan:

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

$F_{\max}$  : 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 semakin sedikit.

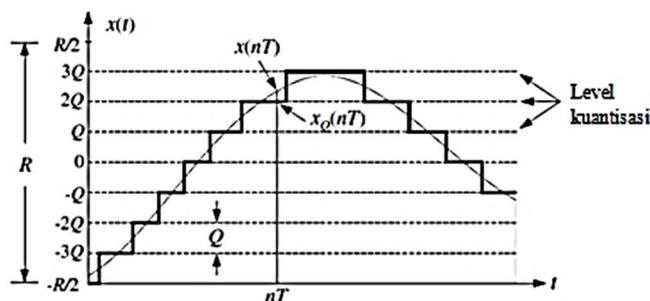
Kuantisasi adalah suatu tahap pemetaan dari sinyal yang telah dicuplik menjadi sinyal dengan level tertentu berdasarkan bit ADC yang digunakan. Setiap pemetaan akan menghasilkan  $2^n$  rentang (R), dan  $2^n - 1$  level misalnya dalam suatu kuantisasi digunakan 3 bit ADC maka akan menghasilkan  $2^3 = 8$  rentang dan  $2^3 - 1 = 7$  level, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.14. Semakin banyak 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. Adapun nilai hasil kuantisasi untuk resolusi 10 bit (1023) dirumuskan dalam Persamaan (2-37).

$$ADC = \frac{V_{IN}}{V_{REF}} \times 1023 \quad (2-37)$$

dengan:

$V_{IN}$  : tegangan input (volt) dan

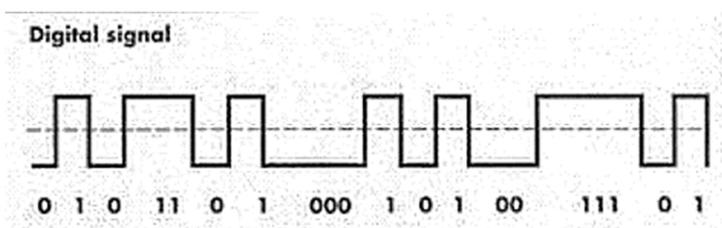
$V_{REF}$  : tegangan referensi (volt)



Gambar 2.14 Sinyal Hasil Kuantisasi

Sumber: Sophocles (2010, p.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*. Misal 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 2.15 (Sophocles, 2010, p.62).



Gambar 2.15 Sinyal Hasil Pengkodean

Sumber: Sophocles (2010, p.76)

## 2.5 Bluetooth Audio Receiver TS-BT35A08

*Bluetooth Audio Receiver* TS-BT35A08 adalah produk berteknologi tinggi yang dapat menerima musik dari ponsel maupun perangkat *bluetooth* nirkabel. Penerima musik ini dapat digunakan di hampir semua penerima audio. Dengan frekuensi sebesar 2,4 GHz, TS-BT35A08 mengusung versi V3.0 dengan jarak maksimum sejauh 10 meter, menjadikan perangkat ini cukup kompak untuk digunakan di dalam ruang. Menggunakan 3,5mm *stereo input jack*, sehingga dapat langsung dihubungkan ke berbagai perangkat *speaker*. Dengan baterai *Lithium Ion* yang terdapat di dalamnya, menjadikan perangkat ini dapat digunakan tanpa harus menghubungkan ke sumber daya, dengan lama penggunaan 8 jam (Anonim,2014).

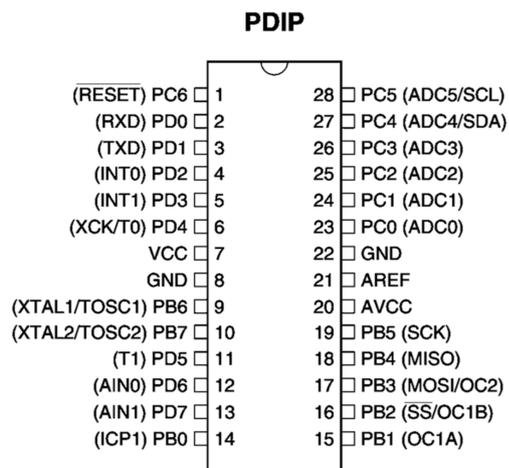


Gambar 2.16 Modul Bluetooth Audio Receiver TS-BT35A08

Sumber: <https://mysku.ru/blog/china-stores/30491.html>

## 2.6 Mikrokontroler Atmel AVR ATmega8

ATMega8 adalah *low power* mikrokontroler 8 bit dengan arsitektur RISC. Mikrokontroler ini dapat mengeksekusi perintah dalam satu periode *clock* untuk setiap instruksi. Mikrokontroler ini diproduksi oleh ATmel dari seri AVR. Beberapa fitur yang dimiliki ATMega8 adalah 8 kbyte *flash program*, 512 kbyte EEPROM, 1 kbyte SRAM, 2 timer 8 bit dan 1 timer 16 bit, *analog to digital converter*, USART, *Analog comparator*, dan *two wire interface* (I2C). Terdapat dua jenis *package* di ATMega8 yaitu DIP *package* dan TQFP *package* yang lebih dikenal dengan SMD (*Surface Mount Device*).



Gambar 2.17 Konfigurasi Pin ATMega8

Sumber: [www.atmel.com](http://www.atmel.com)

ATMega8 memiliki 28 *pin* yang masing - masing *pin*nya memiliki fungsi yang berbeda - beda baik sebagai *port* ataupun sebagai fungsi yang lain. Berikut akan dijelaskan tentang kegunaan dari masing – masing kaki pada ATMega8.

**VCC** : Tegangan *supply*

**GND** : *Ground*

**Port B (PB7..PB0)** :

Port I/O 8-bit dengan resistor *pull-up* internal tiap *pin*. *Buffer* port B mempunyai kapasitas menyerap (*sink*) dan mencatu (*source*).

Khusus **PB6** dapat digunakan sebagai *input* kristal (*inverting oscillator amplifier*) dan *input* ke rangkaian *internal clock*, bergantung pada pengaturan *fuse bit* yang digunakan untuk memilih sumber *clock*.

Khusus **PB7** dapat digunakan *output* kristal (*output inverting oscillator amplifier*) bergantung pada pengaturan *fuse bit* yang digunakan untuk memilih sumber *clock*. Jika sumber *clock* yang dipilih dari *oscillator* internal, PB7 dan PB6 dapat digunakan sebagai I/O atau jika menggunakan *Ashynchronous Timer/Counter* maka PB6 dan PB7 (TOSC2 dan TOSC1) digunakan untuk saluran *input counter*.

#### **Port C (PC5..PC0) :**

Port I/O 7-bit (PC6, PC5,...PC0) dengan resistor *pull-up* internal tiap *pin*. *Buffer* port C mempunyai kapasitas menyerap (*sink*) dan mencatu (*source*).

#### **RESET/PC6 :**

Jika *fuse bit* RSTDISBL di "*programed*", PC6 digunakan sebagai *pin* I/O. Jika *fuse bit* RSTDISBL di "*unprogramed*", PC6 digunakan sebagai *pin* RESET (*active low*).

#### **Port D (PD7..PD0) :**

Port I/O 8 bit dengan resistor *pull-up* internal tiap *pin*. *Buffer* port D mempunyai kapasitas menyerap (*sink*) dan mencatu (*source*).

#### **AVcc :**

AVcc adalah *pin* tegangan catu untuk A/D *converter*, PC3- PC0, dan ADC (7-6). AVcc harus dihubungkan ke Vcc, walaupun ADC tidak digunakan. Jika ADC digunakan, maka AVcc harus dihubungkan ke VCC melalui "*low pass filter*". PC5, PC4 menggunakan catu tegangan Vcc *digital*.

#### **AREF :**

Untuk *pin* tegangan referensi analog untuk ADC.

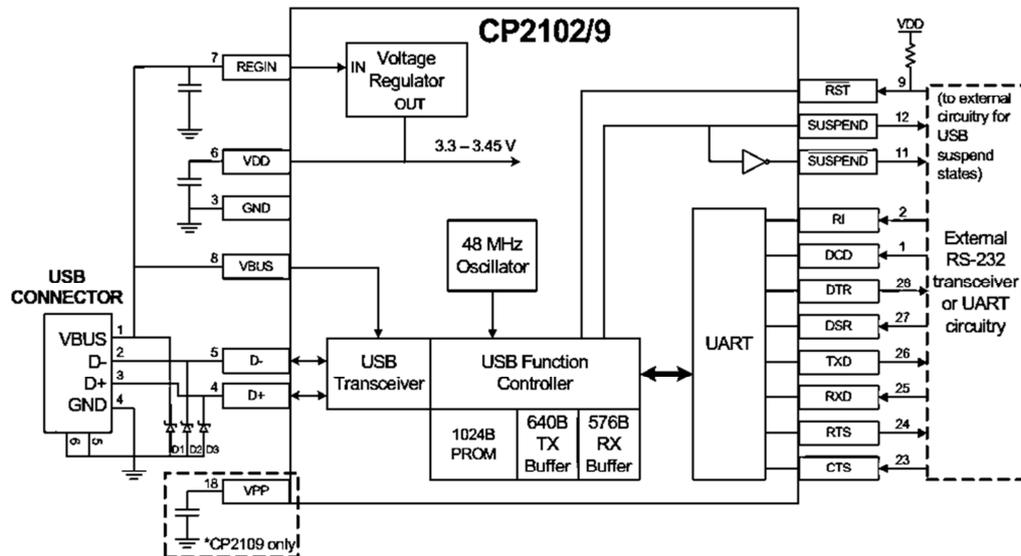
#### **ADC 7-6(TQPF,QFN/MLF):**

Hanya ada pada kemasan TQPF dan QFN/MLF, ADC7-6 digunakan untuk *pin input* ADC (Winoto, 2010, pp. 39-41).

## **2.7 USB to TTL**

Komunikasi data dari PC dengan sistem mikrokontroler tidak bisa dilakukan sembarangan. Komputer 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. Diagram rangkaian CP2102 ditunjukkan pada gambar 2.18. 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 2.18 Rangkaian USB to TTL CP2102

Sumber: Silicon Laboratories (2013, p.1)