



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 RFID

RFID (bahasa Inggris: Radio Frequency Identification) atau Identifikasi Frekuensi Radio adalah sebuah metode identifikasi dengan menggunakan sarana yang disebut label RFID atau transponder untuk menyimpan dan mengambil data jarak jauh. Label atau kartu RFID adalah sebuah benda yang bisa dipasang atau dimasukkan di dalam sebuah produk, hewan atau bahkan manusia dengan tujuan untuk identifikasi menggunakan gelombang radio. Label RFID berisi informasi yang disimpan secara elektronik dan dapat dibaca hingga beberapa meter jauhnya. Sistem pembaca RFID tidak memerlukan kontak langsung seperti sistem pembacaan kode.



Gambar 2.1 RFID

Label RFID terdiri atas mikrochip silikon dan antena. Beberapa ukuran label RFID dapat mendekati ukuran sekecil butir beras. Label yang pasif tidak membutuhkan sumber tenaga, sedangkan label yang aktif membutuhkan sumber tenaga untuk dapat berfungsi.

2.1.1 Sejarah RFID

Pada tahun 1946, Léon Theremin menemukan alat mata-mata untuk pemerintah Uni Soviet yang dapat memancarkan kembali gelombang radio dengan informasi suara. Gelombang suara menggetarkan sebuah diafragma



Politeknik Negeri Sriwijaya

(*diaphragm*) yang mengubah sedikit bentuk resonator, yang kemudian memodulasi frekuensi radio yang terpantul. Walaupun alat ini adalah sebuah alat pendengar mata-mata yang pasif dan bukan sebuah kartu/label identitas, alat ini diakui sebagai benda pertama dan salah satu nenek-moyang teknologi RFID. Beberapa publikasi menyatakan bahwa teknologi yang digunakan RFID telah ada semenjak awal era 1920-an, sementara beberapa sumber lainnya menyatakan bahwa sistem RFID baru muncul sekitar akhir era 1960-an.

Sebuah teknologi yang lebih mirip, IFF Transponder, ditemukan oleh Inggris pada tahun 1939, dan secara rutin digunakan oleh tentara sekutu di Perang Dunia II untuk mengidentifikasi pesawat tempur kawan atau lawan. Transponder semacam itu masih digunakan oleh pihak militer dan maskapai penerbangan hingga hari ini.

Karya awal lainnya yang mengeksplorasi RFID adalah karya tulis ilmiah penting Harry Stockman pada tahun 1948 yang berjudul *Communication by Means of Reflected Power* (Komunikasi Menggunakan Tenaga Pantulan) yang terbit di IRE, halaman 1196–1204, Oktober 1948. Stockman memperkirakan bahwa “Riset dan pengembangan yang lebih serius harus dilakukan sebelum problem-problem mendasar di dalam komunikasi tenaga pantulan dapat dipecahkan, dan sebelum aplikasi-aplikasi (dari teknologi ini) dieksplorasi lebih jauh”.

Paten Amerika Serikat nomor 3,713,148 atas nama Mario Cardullo pada tahun 1973 adalah nenek moyang pertama dari RFID modern; sebuah transponder radio pasif dengan memori ingatan. Alat pantulan tenaga pasif pertama didemonstrasikan pada tahun 1971 kepada Perusahaan Pelabuhan New York (*New York Port Authority*) dan pengguna potensial lainnya. Alat ini terdiri dari sebuah transponder dengan memori 16 bit untuk digunakan sebagai alat pembayaran bea.

Pada dasarnya, paten Cardullo meliputi penggunaan frekuensi radio, suara dan cahaya sebagai media transmisi. Rencana bisnis pertama yang diajukan kepada para investor pada tahun 1969 menampilkan penggunaan teknologi ini di bidang transportasi (identifikasi kendaraan otomotif, sistem pembayaran tol otomatis, plat nomor elektronik, manifest [daftar barang] elektronik, pendata rute



kendaraan, pengawas kelaikan kendaraan), bidang perbankan (buku cek elektronik, kartu kredit elektronik), bidang keamanan (tanda pengenal pegawai, pintu gerbang otomatis, pengawas akses) dan bidang kesehatan (identifikasi dan sejarah medis pasien).

Demonstrasi label RFID dengan teknologi tenaga pantulan, baik yang pasif maupun yang aktif, dilakukan di Laboratorium Sains Los Alamos pada tahun 1973. Alat ini diperasikan pada gelombang 915 MHz dan menggunakan label yang berkapasitas 12 bit.

Paten pertama yang menggunakan kata RFID diberikan kepada Charles Walton pada tahun 1983 (Patent Amerika Serikat nomor 4,384,288).

2.1.2 Prinsip Kerja RFID

Prinsip kerja sensor RFID adalah sebagai berikut:

1. Sebuah sistem Radio-Frequency Identification memiliki tiga bagian:
 - a. Sebuah scanning antena.
 - b. Sebuah transceiver dengan decoder untuk mengartikan data.
 - c. A transponder – tag RFID – yang telah diprogram.
2. Scanning Antenna mengeluarkan sinyal frekuensi radio dalam kisaran yang relatif pendek. Radiasi RF melakukan dua hal:
 - a. Menyediakan sarana untuk berkomunikasi dengan transponder (tag RFID).
 - b. Menyediakan tag RFID + sumber daya untuk berkomunikasi (pada tag RFID pasif).

Scanning Antenna dapat secara permanen ditempelkan ke permukaan, selain itu terdapat juga handheld antena . Alat-alat ini dapat mengambil informasi dalam bentuk yang kita perlukan. Misalnya, Anda bisa meletakkannya di ambang pintu untuk menerima data dari orang atau benda yang lewat.

Selain itu, tag RFID ada dua jenis. Pertama, “Active RFID tag”, memiliki sumber daya sendiri; keuntungan dari tag ini adalah bahwa reader dapat diletakkan lebih jauh namun tetap mendapatkan pancaran sinyal. Meskipun beberapa dari perangkat ini dibuat untuk digunakan hingga 10 tahun, namun alat ini tetap memiliki masa pakai terbatas. Kedua, “Passive RFID tag “, tidak



memerlukan baterai dan berbentuk jauh lebih kecil serta memiliki jangka hidup yang hampir tak terbatas.

RFID tag dapat dibaca dalam beberapa keadaan, dimana barcode atau teknologi optik membaca lainnya tidak dapat berfungsi.

1. Tag tidak perlu harus berada pada permukaan benda.
2. Waktu membaca biasanya kurang dari 100 milidetik.
3. Sejumlah besar tag dapat dibaca sekaligus (tidak satu persatu).

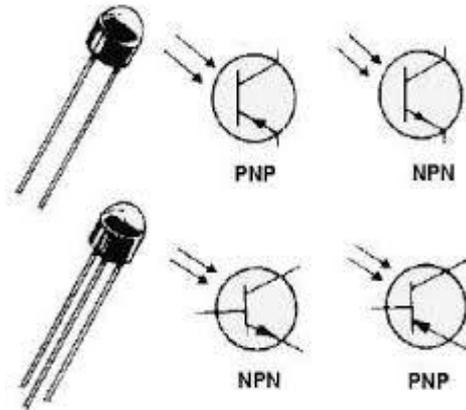
2.2 Sensor

Sensor adalah komponen yang dapat digunakan untuk mengkonversi suatu besaran tertentu menjadi satuan analog sehingga dapat dibaca oleh suatu rangkaian elektronik. Sensor merupakan komponen utama dari suatu transduser, sedangkan transduser merupakan sistem yang melengkapi agar sensor tersebut mempunyai keluaran sesuai dengan yang kita inginkan dan dapat langsung dibaca keluarannya. Salah satu contoh sensor adalah sensor Phototransistor.

2.2.1 Sensor Phototransistor

Phototransistor merupakan transistor yang dirancang untuk menangkap cahaya dan dirakit dalam sebuah kemasan transparan. Kepekaan phototransistor jauh lebih baik daripada photodiode karena phototransistor telah memiliki penguat terintegrasi. Cahaya yang diterima menimbulkan arus pada daerah basis dari phototransistor, dan menghasilkan penguatan arus mulai dari seratus hingga beberapa ribu kali.

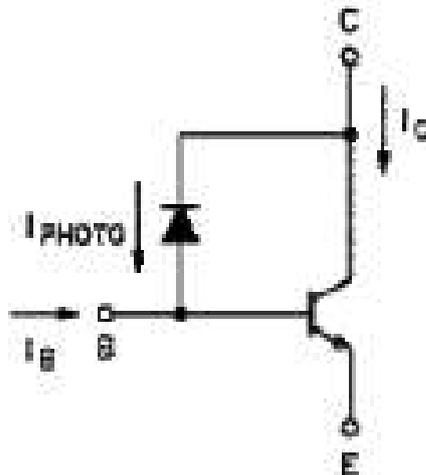
Phototransistor menjadi populer untuk aplikasi yang hanya memiliki power optikal beberapa ratus nanowatt karena kemudahan pemakaian, murah dan kompatibel dengan level tegangan TTL. Meskipun begitu, phototransistor memiliki kekurangan dibandingkan dengan *photodiode*. *Bandwidth* frekuensi dan linearitasnya relatif terbatas serta respon spektrumnya berada antara 350 nm hingga 1100 nm. Selain itu, banyak variasi sensitifitas untuk masing-masing komponen dan sedikit pilihan kemasan standar.



Gambar 2.2 Sensor Phototransistor

2.2.2 Karakteristik Sensor Phototransistor

Rangkaian ekuivalen untuk phototransistor adalah terdiri dari sebuah photodiode yang outputnya diumpankan ke basis sebuah transistor sinyal kecil. Berdasarkan model tersebut maka wajar jika phototransistor menunjukkan karakteristik dioda maupun transistor. Karakteristik arus dan tegangan sebuah phototransistor mirip seperti transistor NPN, dengan pengecualian bahwa cahaya masuk menggantikan arus basis.



Gambar 2.3 Ekuivalen Phototransistor

Struktur phototransistor sangat mirip dengan photodiode. Pada kenyataannya, junction kolektor-basis sebuah phototransistor dapat dipakai seperti photodiode dengan hasil yang cukup memuaskan. Perbedaan utama strukturnya



adalah bahwa phototransistor memiliki dua junction sedangkan photodiode hanya memiliki sebuah junction saja. Karakteristiknya yaitu :

a. Respon Spektrum

Output sebuah phototransistor tergantung pada panjang gelombang dari cahaya yang masuk. Phototransistor bereaksi terhadap cahaya dengan range spektrum panjang gelombang yang lebar mulai dari spektrum mendekati ultraviolet, melewati spektrum cahaya tampak hingga mendekati spektrum inframerah. Tanpa filter optik, respon puncak berada disekitar spektrum inframerah (sekitar 840 nm). Respon puncak ini berada pada nilai panjang gelombang yang lebih pendek daripada photodiode tipikal. Hal tersebut karena junction difusi sebuah phototransistor terbentuk pada epitaksial dan bukan pada wafer silikon.

Phototransistor akan bereaksi pada lampu fluorescent ataupun sumber cahaya umum namun menunjukkan efisiensi kopel cahaya yang lebih baik ketika dipasangkan dengan LED inframerah. Standar LED inframerah adalah GaAs (940 nm) dan GaAlAs (880 nm).

b. Sensitifitas

Untuk level iluminasi sumber cahaya yang diberikan, output sebuah phototransistor ditentukan oleh area yang terbuka pada junction kolektor-basis dan arus penguatan DC transistor. Junction kolektor-basis phototransistor berfungsi sebagai photodiode yang menghasilkan arus photon yang diumpun pada basis bagian transistor. Kondisi tersebut sama halnya seperti photodiode yang memperbesar region basis dan melipatgandakan jumlah arus photon yang dihasilkan. Arus photon ini (I_p) dikuatkan oleh penguat arus DC transistor.

Sesuai karakteristik transistor, nilai hFE tidaklah konstan melainkan berubah-ubah tergantung arus basis, tegangan bias dan temperatur. Pada level cahaya yang rendah, penguatan mulai dengan nilai yang kecil kemudian naik sesuai dengan peningkatan intensitas cahaya hingga puncak penguatan dicapai. Setelah mencapai nilai puncak, peningkatan intensitas cahaya akan diikuti dengan turunnya penguatan.



c. Linieritas

Tidak seperti photodiode yang outputnya linear terhadap cahaya yang masuk mencapai iluminasi cahaya 7 sampai 9 dekade, Arus kolektor (I_c) sebuah phototransistor adalah linear untuk iluminasi 3 sampai 4 dekade. Alasan utama atas keterbatasan ini adalah karena Penguatan DC (h_{FE}) phototransistor fungsi perubahan arus kolektor (I_c) yang berubah tergantung oleh arus basis yang berupa arus cahaya yang masuk.

d. Tegangan Saturasi Kolektor-Emitor

Saturasi adalah kondisi ketika kedua junction emitor-basis dan kolektor basis sebuah phototransistor menjadi terbias maju. Dari sudut pandang praktis tegangan saturasi, $V_{CE(SAT)}$, adalah parameter yang menunjukkan betapa dekatnya photodetektor mendekati kondisi switch tertutup karena $V_{CE(SAT)}$ adalah tegangan jatuh pada detektor ketika kondisinya "ON".

e. *Dark Current*

Ketika phototransistor ditempatkan dalam gelap dan tegangan diberikan pada kolektor ke emitor, sejumlah arus tertentu akan mengalir. Arus ini disebut dark current (I_D). Arus ini terdiri dari arus bocor junction basis emitor yang dikalikan dengan penguatan arus DC (gain) transistor. Keberadaan arus ini mencegah phototransistor menjadi dianggap benar-benar "OFF", atau menjadi saklar ideal yang terbuka. Dark current ditentukan sebagai arus kolektor yang diijinkan mengalir pada tegangan uji kolektor-emitor. Dark current merupakan sebuah fungsi nilai tegangan kolektor-emitor dan suhu lingkungan.

f. Kecepatan Respon

Kecepatan respon sebuah phototransistor didominasi hampir secara keseluruhan oleh kapasitansi junction kolektor-basis dan nilai resistor beban. Dominasi ini berkaitan dengan Efek Miller yang mengalikan nilai time constant RC dengan penguatan arus phototransistor. Aturan tersebut berlaku untuk alat yang mempunyai area aktif yang sama, semakin tinggi penguatan oleh phototransistor, makin rendah kecepatan responnya.



Sebuah phototransistor memerlukan sejumlah waktu tertentu untuk bereaksi terhadap perubahan intensitas cahaya yang tiba-tiba. Waktu respon ini biasanya dinyatakan dengan nilai rise time (t_R) dan fall time (t_F) (t_R adalah waktu yang dibutuhkan output untuk naik dari 10% menjadi 90% pada nilai on-state-nya, dan t_F adalah waktu yang dibutuhkan output untuk turun dari 90% menjadi 10% pada nilai onstate-nya).

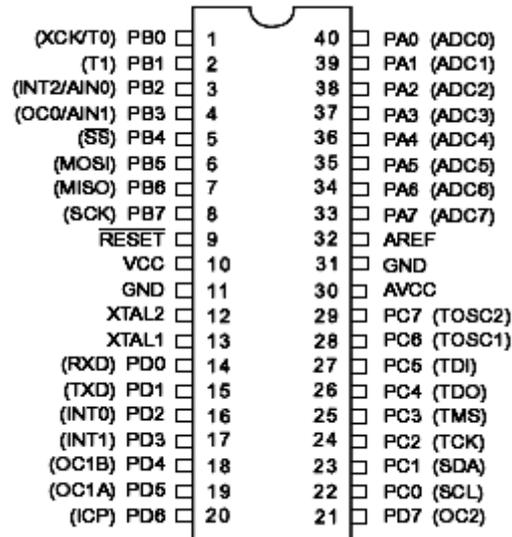
2.3 Mikrokontroler

AVR merupakan seri mikrokontroler CMOS 8-bit buatan Atmel, berbasis arsitektur RISC (Reduced Instruction Set Computer). Hampir semua instruksi dieksekusi dalam satu siklus clock. AVR mempunyai 32 register general-purpose, timer/counter fleksibel dengan mode compare, interrupt internal dan eksternal, serial UART, programmable Watchdog Timer, dan mode power saving, ADC dan PWM internal. AVR juga mempunyai In-System Programmable Flash on-chip yang memungkinkan memori program untuk diprogram ulang dalam system menggunakan hubungan serial SPI. ATMega16. ATMega16 mempunyai throughput mendekati 1 MIPS per MHz membuat disainer sistem untuk mengoptimasi konsumsi daya versus kecepatan proses. Beberapa keistimewaan dari AVR ATMega16 antara lain:

1. Advanced RISC Architecture
 - a. 130 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - b. 32 x 8 General Purpose Fully Static Operation
 - c. Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
 - d. On-chip 2-cycle Multiplier
2. Nonvolatile Program and Data Memories
 - a. 8K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
 - b. Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - c. 512 Bytes EEPROM
 - d. 512 Bytes Internal SRAM
 - e. Programming Lock for Software Security



3. Peripheral Features
 - a. Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Mode
 - b. Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
 - c. One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - d. Real Time Counter with Separate Oscillator
 - e. Four PWM Channels
 - f. 8-channel, 10-bit ADC
 - g. Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - h. Programmable Serial USART
4. Special Microcontroller Features
 - a. Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - b. Internal Calibrated RC Oscillator
 - c. External and Internal Interrupt Sources
 - d. Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Powerdown, Standby and Extended Standby
5. I/O and Package
 - a. 32 Programmable I/O Lines
 - b. 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, 44-lead PLCC, and 44-pad MLF
6. Operating Voltages
 - a. 2.7 - 5.5V for Atmega16L
 - b. 4.5 - 5.5V for Atmega16



Gambar 2.4 Pin-Pin ATmega16 Kemasan 40-Pin

Pin-pin pada ATmega16 dengan kemasan 40-pin DIP (dual inline package) ditunjukkan oleh gambar 1. Guna memaksimalkan performa, AVR menggunakan arsitektur Harvard (dengan memori dan bus terpisah untuk program dan data).

2.3.1 Port Sebagai Input/Output Digital

ATmega16 mempunyai empat buah port yang bernama PortA, PortB, PortC, dan PortD. Keempat port tersebut merupakan jalur bidirectional dengan pilihan internal pull-up. Tiap port mempunyai tiga buah register bit, yaitu DDxn, PORTxn, dan PINxn. Huruf 'x' mewakili nama huruf dari port sedangkan huruf 'n' mewakili nomor bit. Bit DDxn terdapat pada I/O address DDRx, bit PORTxn terdapat pada I/O address PORTx, dan bit PINxn terdapat pada I/O address PINx. Bit DDxn dalam register DDRx (Data Direction Register) menentukan arah pin. Bila DDxn diset 1 maka Px berfungsi sebagai pin output. Bila DDxn diset 0 maka Px berfungsi sebagai pin input. Bila PORTxn diset 1 pada saat pin terkonfigurasi sebagai pin input, maka resistor pull-up akan diaktifkan. Untuk mematikan resistor pull-up, PORTxn harus diset 0 atau pin dikonfigurasi sebagai pin output. Pin port adalah tri-state setelah kondisi reset. Bila PORTxn diset 1 pada saat pin terkonfigurasi sebagai pin output maka pin port akan berlogika 1. Dan bila PORTxn diset 0 pada saat pin terkonfigurasi sebagai pin output maka pin port



akan berlogika 0. Saat mengubah kondisi port dari kondisi tri-state ($DDx_n=0$, $PORTx_n=0$) ke kondisi output high ($DDx_n=1$, $PORTx_n=1$) maka harus ada kondisi peralihan apakah itu kondisi pull-up enabled ($DDx_n=0$, $PORTx_n=1$) atau kondisi output low ($DDx_n=1$, $PORTx_n=0$).

Biasanya, kondisi pull-up enabled dapat diterima sepenuhnya, selama lingkungan impedansi tinggi tidak memperhatikan perbedaan antara sebuah strong high driver dengan sebuah pull-up. Jika ini bukan suatu masalah, maka bit PUD pada register SFIOR dapat diset 1 untuk mematikan semua pull-up dalam semua port. Peralihan dari kondisi input dengan pull-up ke kondisi output low juga menimbulkan masalah yang sama. Kita harus menggunakan kondisi tri-state ($DDx_n=0$, $PORTx_n=0$) atau kondisi output high ($DDx_n=1$, $PORTx_n=0$) sebagai kondisi transisi.

Tabel 2.1 Konfigurasi Pin Port

| DDx _n | PORTx _n | PUD (In SFIOR) | I/O | Pull-up | Comment |
|------------------|--------------------|-------------------|--------|---------|---|
| 0 | 0 | X | Input | No | Tri-state (HI-Z) |
| 0 | 1 | 0 | Input | Yes | Pxn will source current if ext. pulled low. |
| 0 | 1 | 1 | Input | No | Tri-state (HI-Z) |
| 1 | 0 | X | Output | No | Output Low (Sink) |
| 1 | 1 | X | Output | No | Output High (Source) |

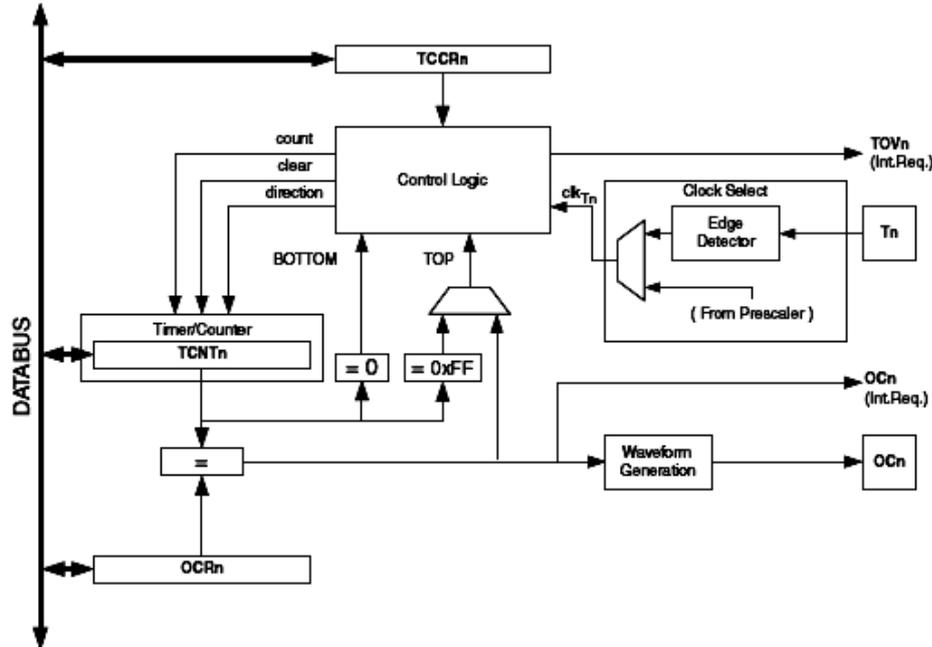
Bit 2 – PUD : Pull-up Disable Bila bit diset bernilai 1 maka pull-up pada port I/O akan dimatikan walaupun register DDx_n dan $PORTx_n$ dikonfigurasi untuk menyalakan pull-up ($DDx_n=0$, $PORTx_n=1$).

2.3.2 Timer

Timer/counter adalah fasilitas dari ATMega16 yang digunakan untuk perhitungan pewaktuan. Beberapa fasilitas channel dari timer counter antara lain: counter channel tunggal, pengosongan data timer sesuai dengan data pembanding, bebas -glitch, tahap yang tepat Pulse Width Modulation (PWM), pembangkit frekuensi, event counter external.

Gambar diagram block timer/counter 8 bit ditunjukkan pada gambar 2. Untuk penempatan pin I/O telah di jelaskan pada bagian I/O di atas. CPU dapat

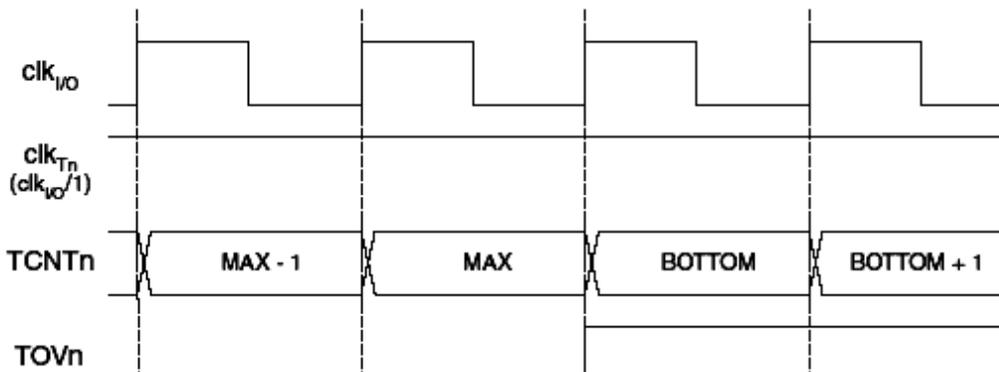
diakses register I/O, termasuk dalam pin-pin I/O dan bit I/O. Device khusus register I/O dan lokasi bit terdaftar pada deskripsi timer/counter 8 bit.



Gambar 2.5 Blok Diagram Timer/Counter

a. Timing Diagram Timer/Counter

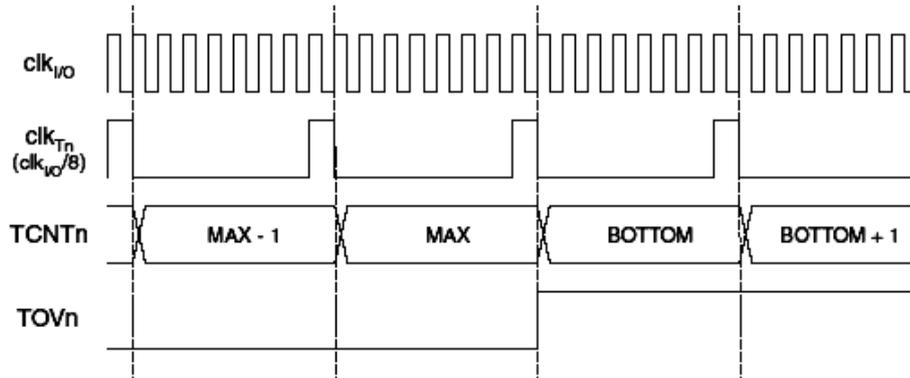
Timer/counter didesain sinkron clock timer (clk_{T0}) oleh karena itu ditunjukkan sebagai sinyal enable clock pada gambar 3. Gambar ini termasuk informasi ketika flag interrupt dalam kondisi set. Data timing digunakan sebagai dasar dari operasi timer/counter.



Gambar 2.6 Timing Diagram Timer/Counter, Tanpa Prescaling

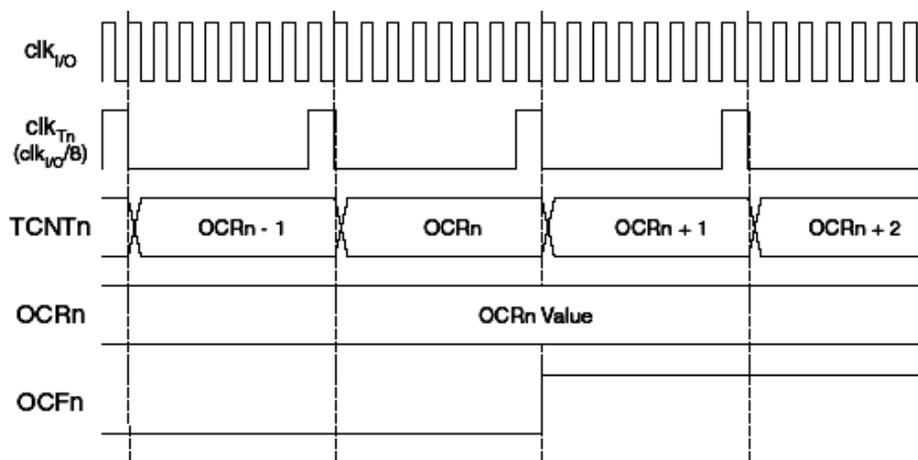
Sesuai dengan gambar 4 timing diagram timer/counter dengan prescaling maksudnya adalah counter akan menambahkan data counter (TCNTn) ketika terjadi pulsa clock telah mencapai 8 kali pulsa dan sinyal clock pembagi aktif

clock dan ketika telah mencapai nilai maksimal maka nilai TCNTn akan kembali ke nol. Dan kondisi flag timer akan aktif ketika TCNTn maksimal.



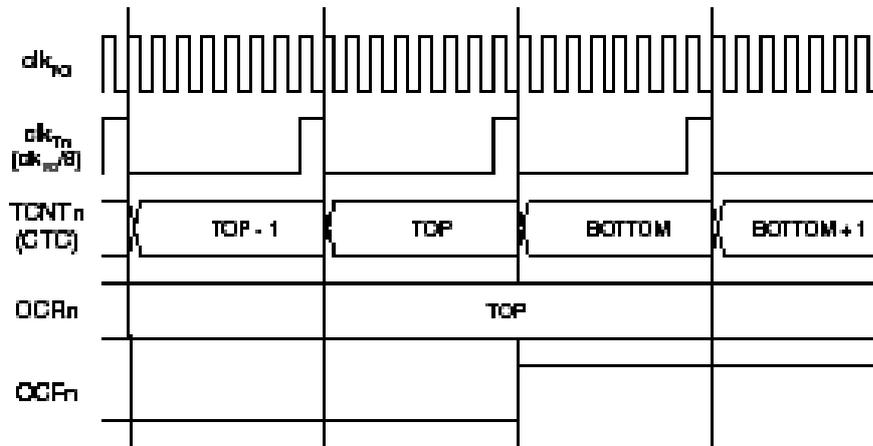
Gambar 2.6 Timing Diagram Timer/Counter, Dengan Prescaling

Sama halnya timing timer diatas, timing timer/counter dengan seting OCFO timer mode ini memasukan data ORCn sebagai data input timer. Ketika nilai ORCn sama dengan nilaiTCNTn maka pulsa flag timer akan aktif. TCNTn akan bertambah nilainya ketika pulsa clock telah mencapai 8 pulsa. Dan kondisi flag akan berbalik komplemen) kondisi ketika nilai TCNTn kembali kenilai 0 (overflow).



Gambar 2.7 Timing Diagram Timer/Counter, Menyeting Ocfo, Dengan Pescaler (Fclk_I/O/8)

Ketika nilai ORCn sama dengan nilai TCNTn maka pulsa flag timer akan aktif. TCNTn akan bertambah nilainya ketika pulsa clock telah mencapai 8 pulsa. Dan kondisi flag akan berbalik (komplemen) kondisi ketika nilai TCNTn kembali kenilai 0 (overflow).



Gambar 2.8 Timing Diagram Timer/Counter, Menyeting Ocf0, Pengosongan Data Timer Sesuai Dengan Data Perbandingan, Dengan Pescaler (Fclk_I/O/8)

b. Deskripsi Register Timer/Counter 8 bit

| | | | | | | | | | |
|---------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|
| Bit | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| | FOCO WGM00 COM01 COM00 WGM01 CS02 CS01 CS00 | | | | | | | | TCCR0 |
| Read/Write | W | R/W | |
| Initial Value | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Gambar 2.9 Register Timer Counter 8 Bit

Bit 7 – FOCO : perbandingan kemampuan output FOCO hanya akan aktif ketika spesifik-spesifik bit WGM00 tanpa PWM mode. Adapun untuk meyakinkan terhadap kesesuaian dengan device-device yang akan digunakan, bit ini harus diset nol ketika TCCR0 ditulisi saat mengoperasikan mode PWM. Ketika menulisi logika satu ke bit FOCO, dengan segera dipaksakan untuk disesuaikan pada unit pembangkit bentuk gelombang. Output OCO diubah disesuaikan pada COM01: bit 0 menentukan pengaruh daya perbandingan.

Bit 6,3 – WGM01:0: Waveform Generation Mode

Bit ini mengontrol penghitungan yang teratur pada counter, sumber untuk harga counter maksimal (TOP), dan tipe apa dari pembangkit bentuk gelombang yang digunakan. Mode-mode operasi didukung oleh unit timer/counter sebagai berikut : mode normal, pembersih timer pada mode penyesuaian dengan perbandingan (CTC), dan dua tipe mode Pulse Width Modulation (PWM).



Tabel 2.2 Deskripsi Bit Mode Pembangkit Bentuk Gelombang

| Mode | WGM01 (CTC0) | WGM00 (PWM0) | Timer/Counter Mode of Operation | TOP | Update of OCR0 | TOV0 Flag Set-on |
|------|--------------|--------------|---------------------------------|------|----------------|------------------|
| 0 | 0 | 0 | Normal | 0xFF | Immediate | MAX |
| 1 | 0 | 1 | PWM, Phase Correct | 0xFF | TOP | BOTTOM |
| 2 | 1 | 0 | CTC | OCR0 | Immediate | MAX |
| 3 | 1 | 1 | Fast PWM | 0xFF | TOP | MAX |

Bit ini mengontrol pin output compare (OCO), jika satu atau kedua bit COM01:0 diset, output OCO melebihi fungsional port normal I/O dan keduanya terhubung juga. Bagaimanapun, catatan bahwa bit Direksi Data Register (DDR) mencocokkan ke pin OCO yang mana harus diset dengan tujuan mengaktifkan. Ketika OCO dihubungkan ke pin, fungsi dari bit COM01:0 tergantung dari pengesetan bit WGM01:0.

Tabel 2.3 Mode Output Pembanding, Tanpa Pwm

| COM01 | COM00 | Description |
|-------|-------|--|
| 0 | 0 | Normal port operation, OCO disconnected. |
| 0 | 1 | Toggle OCO on compare match |
| 1 | 0 | Clear OCO on compare match |
| 1 | 1 | Set OCO on compare match |

Tabel 2.4 Mode Output Pembanding, Mode Fast Pwm

| COM01 | COM00 | Description |
|-------|-------|--|
| 0 | 0 | Normal port operation, OCO disconnected. |
| 0 | 1 | Reserved |
| 1 | 0 | Clear OCO on compare match, set OCO at TOP |
| 1 | 1 | Set OCO on compare match, clear OCO at TOP |

Tabel 2.5 Mode Output Pembanding, Mode Phase Correct Pwm

| COM01 | COM00 | Description |
|-------|-------|--|
| 0 | 0 | Normal port operation, OCO disconnected. |
| 0 | 1 | Reserved |
| 1 | 0 | Clear OCO on compare match when up-counting. Set OCO on compare match when downcounting. |
| 1 | 1 | Set OCO on compare match when up-counting. Clear OCO on compare match when downcounting. |

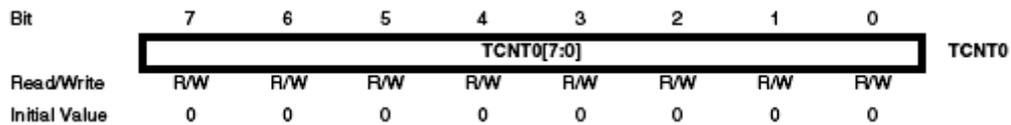
Tiga bit clock select sumber clock digunakan dengan timer/counter. Jika mode pin eksternal digunakan untuk timer counter0, perpindahan dari pin T0 akan memberi clock counter.

Tabel 2.6 Deskripsi Bit Clock Select

| CS02 | CS01 | CS00 | Description |
|------|------|------|---|
| 0 | 0 | 0 | No clock source (Timer/Counter stopped). |
| 0 | 0 | 1 | clk _{I/O} (No prescaling) |
| 0 | 1 | 0 | clk _{I/O} /8 (From prescaler) |
| 0 | 1 | 1 | clk _{I/O} /32 (From prescaler) |
| 1 | 0 | 0 | clk _{I/O} /256 (From prescaler) |
| 1 | 0 | 1 | clk _{I/O} /1024 (From prescaler) |
| 1 | 1 | 0 | External clock source on T0 pin. Clock on falling edge. |
| 1 | 1 | 1 | External clock source on T0 pin. Clock on rising edge. |

Sesuai dengan tabel diatas maka sumber clock dapat dibagi sehingga timer/counter dapat disesuaikan dengan banyak data yang dihitung.

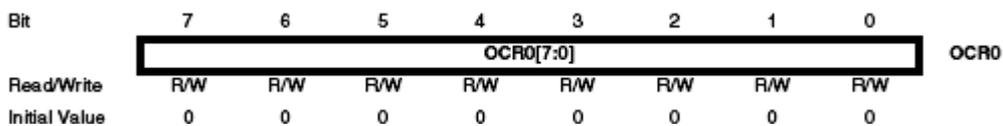
c. Register Timer/Counter TCNT0



Gambar 2.10 Register Timer TCNT0

Register timer/counter memberikan akses secara langsung, keduanya digunakan untuk membaca dan menulis operasi, untuk penghitung unit 8-bit timer/counter. Menulis ke blok-blok register TCNT0 (removes) disesuaikan dengan clock timer berikutnya. Memodifikasi counter (TCNT0) ketika perhitungan berjalan, memperkenalkan resiko kehilangan perbandingan antara TCNC0 dengan register OCR0.

d. Register Timer/Counter OCR0



Gambar 2.11 Register Timer OCR0



Register output pembanding berisi sebuah harga 8 bit yang mana secara terus-menerus dibandingkan dengan harga counter (TCNT0). Sebuah penyesuaian dapat digunakan untuk membangkitkan output interrupt pembanding, atau untuk membangkitkan sebuah output bentuk gelombang pada pin OC0.

e. Register Timer/Counter Interrupt Mask

Bit 1-OCIE0: output timer counter menyesuaikan dengan kesesuaian interrupt yang aktif. Ketika bit OCIE0 ditulis satu, dan 1-bit pada register status dalam kondisi set (satu), membandingkan timer/counter pada interrupt yang sesuai diaktifkan. Mencocokkan interrupt yang dijalankan kesesuaian pembanding pada timer/counter0 terjadi, ketika bit OCF0 diset pada register penanda timer/counter-TIFR.

Bit 0 – TOIE0: Timer/Counter 0 Overflow Interrupt Enable. Ketika bit TOIE0 ditulis satu, dan 1-bit pada register status dalam kondisi set (satu), timer/counter melebihi interrupt diaktifkan. Mencocokkan interrupt dijalankan jika kelebihan pada timer/counter0 terjadi, ketika bit TOV0 diset pada register penanda timer/counter-TIFR.

f. Register Timer/Counter Register – TIFR

| | | | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| Bit | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| | OCF2 | TOV2 | ICF1 | OCF1A | OCF1B | TOV1 | OCF0 | TOV0 | TIFR |
| Read/Write | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | |
| Initial Value | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Gambar 2.12 Register Timer TIFR

Bit 1 – OCF0: Output Compare Flag 0 OCF0 dalam kondisi set (satu) kesesuaian pembanding terjadi antara timer/counter dan data pada OCRO – Register 0 keluaran pembanding. OCF0 diclear oleh hardware ketika eksekusi pencocokan penanganan vector interrupt. Dengan alternatif mengclearkan OCF0 dengan menuliskan logika satu pada flag. Ketika I-bit pada SREG, OCIE0 (Timer/Counter0 penyesuaian pembanding interrupt enable), dan OCF0 diset (satu), timer/counter pembanding kesesuaian interrupt dijalankan.

Bit 0 – TOV0: Timer/Counter Overflow Flag. Bit TOV0 diset (satu) ketika kelebihan terjadi pada timer/counter0. TOV0 diclearkan dengan hardware ketika



penjalanan pencocokan penanganan vector interrupt. Dengan alternatif, TOV0 dideklarasikan dengan jalan memberikan logika satu pada flag. Ketika Ibit pada SREG, TOIE0 (Timer/Counter0 overflow interrupt enable), dan TOV0 diset (satu), timer/counter overflow interrupt dijalankan. Pada tahap mode PWM yang tepat, bit ini di set ketika timer/counter merubah bagian perhitungan pada \$00.

2.3.3 Serial pada ATmega16

Universal synchronous dan asynchronous pemancar dan penerima serial adalah suatu alat komunikasi serial sangat fleksibel. Jenis yang utama adalah :

- a. Operasi full duplex (register penerima dan pengirim serial dapat berdiri sendiri)
- b. Operasi Asynchronous atau synchronous
- c. Master atau slave mendapat clock dengan operasi synchronous
- d. Pembangkit baud rate dengan resolusi tinggi
- e. Dukung frames serial dengan 5, 6, 7, 8 atau 9 Data bit dan 1 atau 2 Stop bit
- f. Tahap odd atau even parity dan parity check didukung oleh hardware
- g. Pendeteksian data overrun
- h. Pendeteksi framing error
- i. Pemfilteran gangguan (noise) meliputi pendeteksian bit false start dan pendeteksian low pass filter digital
- j. Tiga interrupt terdiri dari TX complete, TX data register empty dan RX complete.
- k. Mode komunikasi multi-processor
- l. Mode komunikasi double speed asynchronous

2.3.4 Generator Clock

Logic generator clock menghasilkan dasar clock untuk pengirim dan penerima. USART mendukung empat mode operasi clock: Normal Asynchronous, Double Speed Asynchronous mode Master Synchronous dan Slave Synchronous. Bit UMSEL pada USART control dan status register C (UCSRC) memilih antara operasi Asynchronous dan Synchronous. Double speed (hanya pada mode Asynchronous) dikontrol oleh U2X yang mana terdapat pada register UCSRA.



Pemancar membagi baud rete generator clock output dengan 2, 8, atau 16 cara tergantung pada mode. Pembangkit output baud rate digunakan secara langsung oleh penerima clock dan unit-unit pelindung data. Unit-unit recovery menggunakan suatu mesin status yang menggunakan 2, 8, atau 16 cara yang tergantung pada cara menyimpan status dari UMSEL, bit-bit U2X dan DDR_XCK. Tabel di bawah menunjukkan penyamaan perhitungan baud rate dan nilai UBRR tiap mode operasi menggunakan sumber pembangkit clock internal.

Tabel 2.7 Persamaan untuk menyetting perhitungan register baud rate

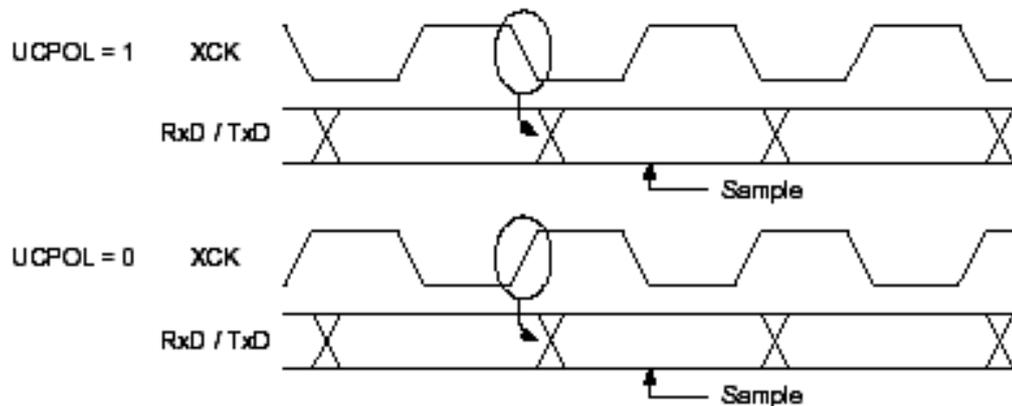
| Operating Mode | Equation for Calculating Baud Rate ⁽¹⁾ | Equation for Calculating UBRR Value |
|--|---|-------------------------------------|
| Asynchronous Normal Mode (U2X = 0) | $BAUD = \frac{f_{osc}}{16(UBRR + 1)}$ | $UBRR = \frac{f_{osc}}{16BAUD} - 1$ |
| Asynchronous Double Speed Mode (U2X = 1) | $BAUD = \frac{f_{osc}}{8(UBRR + 1)}$ | $UBRR = \frac{f_{osc}}{8BAUD} - 1$ |
| Synchronous Master Mode | $BAUD = \frac{f_{osc}}{2(UBRR + 1)}$ | $UBRR = \frac{f_{osc}}{2BAUD} - 1$ |

b. Eksternal Clock

Eksternal clock digunakan untuk operasi mode slave synchronous. Eksternal clock masuk dari pin XCK dicontohkan oleh suatu daftar sinkronisasi register untuk memperkecil kesempatan meta-stabilitas. Keluaran dari sinkronisasi register kemudian harus menerobos detector tepi sebelum digunakan oleh pengirim dan penerima. Proses ini mengenalkan dua period delay clock CPU dan oleh karena itu maksimal frekuensi clock XCK eksternal dibatasi oleh persamaan sebagai berikut $F_{xck} < f_{osc}/4$ Keterangan: f_{osc} tergantung pada stabilitas sistem sumber clock.

c. Operasi Synchronous Clock

Ketika mode sinkron digunakan (UMSEL=1), pin XCK akan digunakan sama seperti clock input (slave) atau clock output (master). Dengan ketergantungan antara tepi clock dan data sampling atau perubahan data menjadi sama. Prinsip dasarnya adalah data input (on RxD) dicontohkan pada clock XCK berlawanan dari tepi data output (TxD) sehingga mengalami perubahan.



Gambar 2.14 Operasi Synchronous Clock

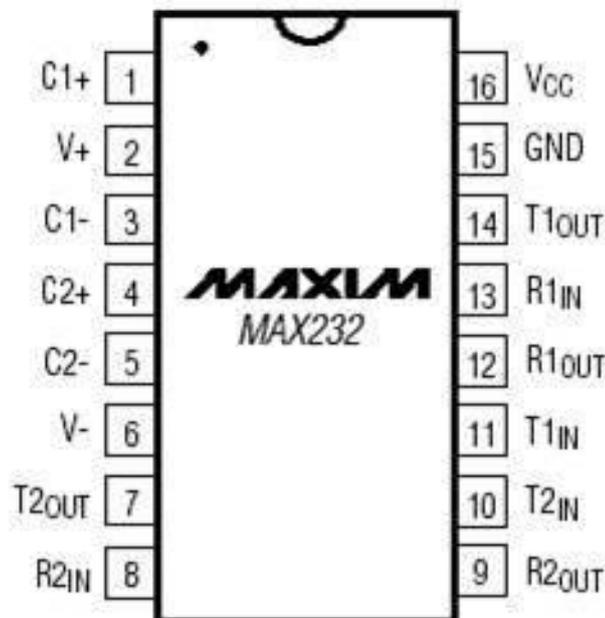
UCPOL bit UCRSC memilih tepi yang mana clock XCK digunakan untuk data sampling dan yang mana digunakan untuk perubahan data. Seperti yang ditunjukkan pada gambar di atas, ketika UCPOL nol data akan diubah pada tepi kenaikan XCK dan dicontohkan pada tepi XCK saat jatuh. Jika UCPOL dalam kondisi set, data akan mengalami perubahan pada saat tepi XCK jatuh dan data akan dicontohkan pada saat tepi XCK naik.

2.3.5 Inisialisasi USART

USART harus diinisialisasi sebelum komunikasi manapun dapat berlangsung. Proses inisialisasi normalnya terdiri dari pengesetan baud rate, penyetingan frame format dan pengaktifan pengirim atau penerima tergantung pada pemakaian. Untuk interrupt menjalankan operasi USART, global interrupt flag (penanda) sebaiknya dibersihkan (dan interrupt global disable) ketika inisialisasi dilakukan. Sebelum melakukan inisialisasi ulang dengan mengubah baud rate atau frame format, untuk meyakinkan bahwa tidak ada transmisi berkelanjutan sepanjang periode register yang diubah. Flag TXC dapat digunakan untuk mengecek bahwa pemancar telah melengkapi semua pengiriman, dan flag RXC dapat digunakan untuk mengecek bahwa tidak ada data yang tidak terbaca pada buffer penerima. Tercatat bahwa flag TXC harus dibersihkan sebelum tiap transmisi (sebelum UDR ditulisi) jika itu semua digunakan untuk tujuan tersebut.

2.4 MAX 232

MAX232 merupakan salah satu jenis IC rangkaian antar muka dual RS-232 transmitter / receiver yang memenuhi semua spesifikasi standar EIA-232-E. IC MAX232 hanya membutuhkan power supply 5V (single power supply) sebagai catu. IC MAX232 di sini berfungsi untuk merubah level tegangan pada COM1 menjadi level tegangan TTL / CMOS. IC MAX232 terdiri atas tiga bagian yaitu dual charge-pump voltage converter, driver RS232, dan receiver RS232.



Gambar 2.15 Konfigurasi Pin IC MAX232

2.4.1 Dual Charge-Pump Voltage Converter

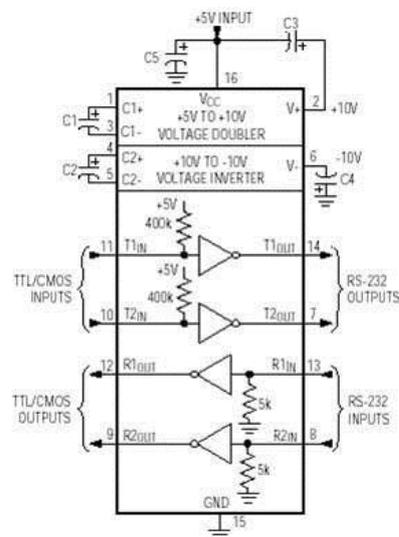
IC MAX232 memiliki dua charge-pump internal yang berfungsi untuk mengkonversi tegangan +5V menjadi $\pm 10V$ (tanpa beban) untuk operasi driver RS232. Konverter pertama menggunakan kapasitor C1 untuk menggandakan tegangan input +5V menjadi +10V saat C3 berada pada output V+. Konverter kedua menggunakan kapasitor C2 untuk merubah +10V menjadi -10V saat C4 berada pada output V-.

2.4.2 Driver RS232

Output ayunan tegangan (voltage swing) driver typical adalah $\pm 8V$. Nilai ini terjadi saat driver dibebani dengan beban nominal receiver RS232 sebesar $5k\Omega$ atau $V_{cc} = 5V$. Input pada driver yang tidak digunakan bisa dibiarkan tidak terhubung kemana – mana. Hal ini dapat terjadi karena dalam kaki input driver IC MAX232 terdapat resistor pull-up sebesar $400k\Omega$ yang terhubung ke V_{cc} . Resistor pull-up mengakibatkan output driver yang tidak terpakai menjadi low karena semua output driver diinversikan.

2.5.1 Receiver RS232

EIA mendefinisikan level tegangan lebih dari 3V sebagai logic 0, berdasarkan hal tersebut semua receiver diinversikan. Input receiver dapat menahan tegangan input sampai dengan $\pm 25V$ dan menyiapkan resistor terminasi input dengan nilai nominal 5k. Nilai input receiver hysteresis typical adalah 0,5V dengan nilai minimum 0,2V, dan nilai delay propogasi typicalnya adalah 600ns.



Gambar 2.16 Typical Operasi Rangkaian

Gambar diatas merupakan typical operasi rangkaian IC MAX232. Nilai C1, C2, C3, C4, dan C5 yang dianjurkan sebesar $1\mu F$.



2.5 Webcam

Webcam (singkatan dari web camera) adalah sebutan bagi kamera real-time (bermakna keadaan pada saat ini juga) yang gambarnya bisadiakses atau dilihat melalui *World Wide Web*. program instans messaging atau aplikasi video call. Istilah webcam merujuk pada teknologi secara umum, sehingga kata web kadang-kadang diganti dengan kata lain yang mendeskripsikan pemandangan yang ditampilkan di kamera, misalnya *StreetCam* yang memperlihatkan pemandangan jalan. Ada juga *MetroCam* yang memperlihatkan pemandangan panorama kota dan pedesaan, *TraffiCam* yang digunakan untuk memonitor keadaan jalan raya, cuaca dengan *Weather Cam*, bahkan keadaan gunung berapi dengan *VolcanoCam*. Webcam atau web camera adalah sebuah kamera video digital kecil yang dihubungkan ke computer melalui (biasanya) port USB ataupun port COM.

Sebuah web camera yang sederhana terdiri dari sebuah lensa standar, dipasang di sebuah papan sirkuit untuk menangkap sinyal gambar; casing (cover), termasuk casing depan dan casing samping untuk menutupi lensa standar dan memiliki sebuah lubang lensa di casing depan yang berguna untuk memasukkan gambar; kabel support, yang dibuat dari bahan yang fleksibel, salah satu ujungnya dihubungkan dengan papan sirkuit dan ujung satu lagi memiliki connector, kabel ini dikontrol untuk menyesuaikan ketinggian, arah dan sudut pandang web camera.

Sebuah web camera biasanya dilengkapi dengan software, software ini mengambil gambar dari kamera digital secara terus menerus ataupun dalam interval waktu tertentu dan menyiarkannya melalui koneksi internet. Ada beberapa metode penyiaran, metode yang paling umum adalah software merubah gambar ke dalam bentuk file JPEG dan menguploadnya ke web server menggunakan File Transfer Protocol (FTP). Frame rate mengindikasikan jumlah gambar sebuah software dapat ambil dan transfer dalam satu detik. Untuk streaming video, dibutuhkan minimal 15 frame per second (fps) atau idealnya 30 fps. Untuk mendapatkan frame rate yang tinggi, dibutuhkan koneksi internet yang tinggi kecepatannya.



Sebuah web camera tidak harus selalu terhubung dengan komputer, ada web camera yang memiliki software webcam dan web server built-in, sehingga yang diperlukan hanyalah koneksi internet. Web cameras seperti ini dinamakan “network camera”. Kita juga bisa menghindari penggunaan kabel dengan menggunakan hubungan radio, koneksi Ethernet ataupun Wifi. Pada awalnya, bentuk web camera terbatas pada bentuk-bentuk standar yang hanya terdiri dari lensa dan papan sirkuit serta casing yang biasa. Namun seiring dengan perkembangan teknologi, bentuk web camera pun sudah makin bervariasi dengan fitur-fitur yang makin canggih. Salah satu bentuk web camera yang unik adalah bentuk boneka yang lucu, web camera ini dapat disalah artikan hanya sebagai boneka dan bukan webcam.

2.5.1 Jenis-Jenis Webcam

a. Serial and Parallel port WebCam

WebCam jenis ini sudah terlalu tua dan jarang ditemukan lagi, karena sudah tidak ada yang memproduksi. Selain itu, kamera jenis ini menghasilkan kualitas gambar yang rendah dan frame rate yang rendah pula.



Gambar 2.17 Serial dan Paralel Webcam

b. USB WebCam

WebCam jenis ini merupakan solusi bagi pengguna baru dan amatir. Mendukung fasilitas PnP (*Plug and Play*) dan dapat dihubungkan ke port USB



tanpa harus mematikan komputer, tetapi syaratnya sistem operasi komputer harus mendukung fasilitas *USB port*.



Gambar 2.18 USB Webcam

c. Firewire and Card Based WebCam

Firewire adalah salah satu teknologi video capture device yang diperlukan bagi kamera yang mendukungnya. Pada umumnya WebCam yang membutuhkan video capture device harganya mahal, akan tetapi dapat menghasilkan *frame rate* tinggi, yaitu 24 sampai 30 frame per second (fps)

d. Network and Wireless Camera

Network Camera adalah perangkat kamera yang tidak memerlukan sama sekali fasilitas komputer, karena dapat langsung terhubung ke jaringan melalui modem. Transfer gambar dan suara langsung menuju jaringan LAN atau *line* telepon via modem.



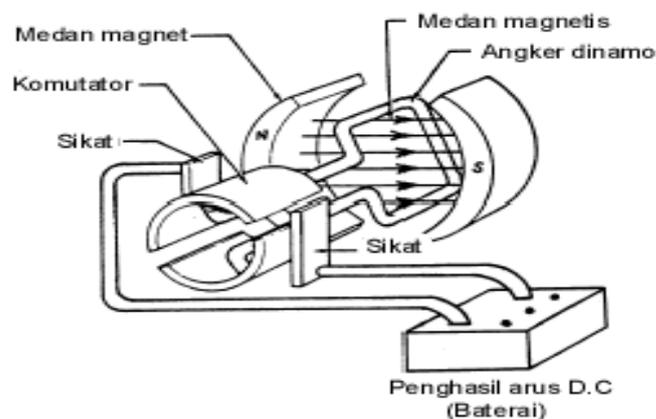
Gambar 2.19 Firewire dan Card Based Webcam



2.6 Motor DC

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (*mixer*, bor listrik, *fan* angin) dan di industri. Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja”nyaindustri sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri.

Motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan magnet, maka akan timbul tegangan (GGL) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik. Prinsip kerja dari arus searah adalah membalik fasa tegangan dari gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator, dengan demikian arus yang berbalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet. Bentuk motor paling sederhana memiliki kumparan satu lilitan yang bias berputar bebas di antara kutub-kutub magnet permanen.

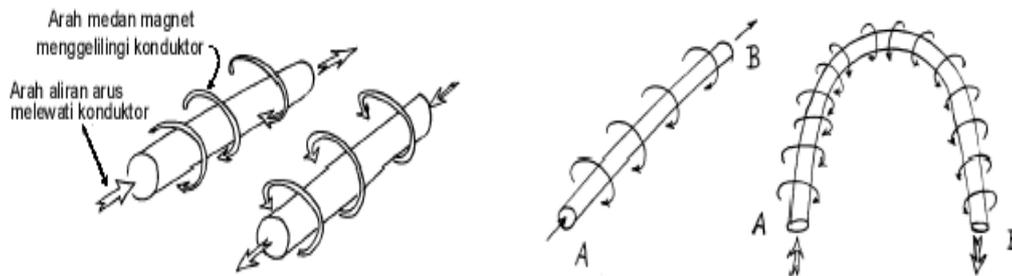


Gambar 2.20 Motor DC Sederhana

Catu tegangan dc dari baterai menuju ke lilitan melalui sikat yang menyentuh komutator, dua segmen yang terhubung dengan dua ujung lilitan. Kumparan satu lilitan pada gambar di atas disebut angker dinamo. Angker dinamo adalah sebutan untuk komponen yang berputar di antara medan magnet.

2.6.1 Prinsip Kerja

Jika arus lewat pada suatu konduktor, timbul medan magnet di sekitar konduktor. Arah medan magnet ditentukan oleh arah aliran arus pada konduktor.



Gambar 2.21 Medan Magnet yang Membawa Arus Mengelilingi Konduktor

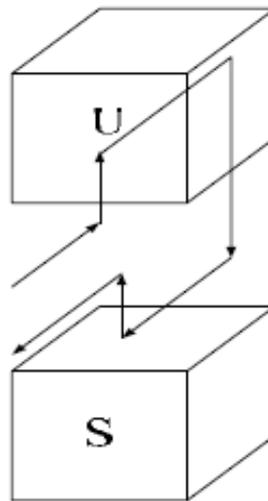
Aturan Genggaman Tangan Kanan bisa dipakai untuk menentukan arah garis fluks di sekitar konduktor. Genggam konduktor dengan tangan kanan dengan jempol mengarah pada arah aliran arus, maka jari-jari anda akan menunjukkan arah garis fluks. Gambar 2.14 menunjukkan medan magnet yang terbentuk di sekitar konduktor berubah arah karena bentuk U.

2.6.2 Mekanisme Kerja

Mekanis kerja untuk seluruh jenis motor secara umum adalah sebagai berikut :

- Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya.
- Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran / *loop*, maka kedua sisi *loop*, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
- Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar / *torque* untuk memutar kumparan.
- Motor-motor memiliki beberapa *loop* pada dinamonya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

Pada motor dc, daerah kumparan medan yang dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar dengan arah tertentu. Konversi dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya berlangsung melalui medan magnet, dengan demikian medan magnet disini selain berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan energi, sekaligus sebagai tempat berlangsungnya proses perubahan energi, daerah tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.22 Prinsip Kerja Motor DC

Agar proses perubahan energi mekanik dapat berlangsung secara sempurna, maka tegangan sumber harus lebih besar daripada tegangan gerak yang disebabkan reaksi lawan. Dengan memberi arus pada kumparan jangkar yang dilindungi oleh medan maka menimbulkan perputaran pada motor.

Dalam memahami sebuah motor, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban dalam hal ini mengacu kepada keluaran tenaga putar / *torque* sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan kedalam tiga kelompok :

- **Beban torque konstan** adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya namun *torquencya* tidak bervariasi. Contoh beban dengan *torque* konstan adalah *corveyors*, *rotary kilns*, dan pompa *displacement* konstan.



- **Beban dengan variabel *torque*** adalah beban dengan *torque* yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan variabel *torque* adalah pompa sentrifugal dan *fan* (*torque* bervariasi sebagai kuadrat kecepatan). Peralatan Energi Listrik : Motor Listrik.
- **Beban dengan energi konstan** adalah beban dengan permintaan *torque* yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

2.6.3 Prinsip Arah Putaran Motor

Untuk menentukan arah putaran motor digunakan kaedah Flamming tangan kiri. Kutub-kutub magnet akan menghasilkan medan magnet dengan arah dari kutub utara ke kutub selatan. Jika medan magnet memotong sebuah kawat penghantar yang dialiri arus searah dengan empat jari, maka akan timbul gerak searah ibu jari. Gaya ini disebut gaya Lorentz, yang besarnya sama dengan F . Prinsip motor : aliran arus di dalam penghantar yang berada di dalam pengaruh medan magnet akan menghasilkan gerakan. Besarnya gaya pada penghantar akan bertambah besar jika arus yang melalui penghantar bertambah besar.