

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sensor Sidik Jari

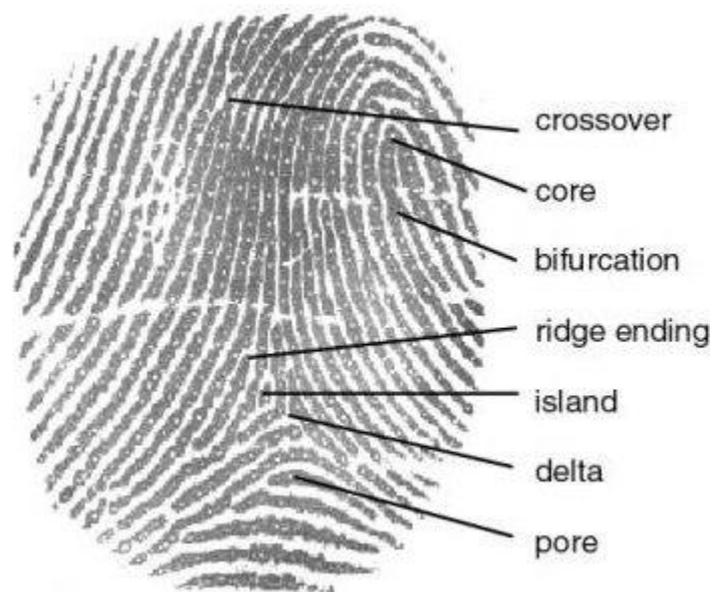
Sistem biometrik sidik jari merupakan sistem yang paling banyak digunakan saat ini, karena memiliki kecenderungan tingkat akurasi yang tinggi dan mudah diterapkan. Sifat yang dimiliki sidik jari antara lain:

1. *Perennial nature*, yaitu guratan-guratan pada sidik jari yang melekat pada kulit manusia seumur hidup.
2. *Immutability*, yaitu sidik jari seseorang tidak pernah berubah, kecuali mendapatkan kecelakaan yang serius.
3. *Individuality*, pola sidik jari adalah unik dan berbeda untuk setiap orang.



Gambar 2.1 Sensor Sidik Jari.

Ciri khas sidik jari yang digunakan adalah sidik jari yang diidentifikasi dengan cara menganalisis detail dari guratan-guratan sidik jari yang dinamakan “*minutiae*” (Naslim Lathif, 2001). *Minutiae* berasal dari bahasa Inggris yang artinya barang tidak berarti atau rincian tidak penting dan terkadang diartikan sebagai detil. *Minutiae* sebenarnya merupakan rincian sidik jari yang tidak penting bagi kita, tetapi bagi sebuah mesin sidik jari itu adalah detil yang diperhatikan.



Gambar 2.2 Definisi sidik jari.

Pemindai sidik jari saat ini sudah banyak digunakan, mulai dari absensi, sebagai access control, hingga sebagai identitas pribadi seperti pada SIM atau passport. Seperti halnya bagian tubuh yang lain, sidik jari terbentuk karena faktor genetic dan lingkungan. Kode genetik pada DNA memberi perintah untuk terbentuknya janin yang secara spesifik membentuk hasil secara acak. Demikian juga halnya dengan sidik jari. Sidik jari memiliki bentuk unik bagi setiap orang. Artinya setiap orang memiliki bentuk sidik jari yang berbeda-beda meskipun terlahir kembar.

Jadi, walaupun sidik jari terlihat seperti sama bila dilihat sekilas, buat penyidik terlatih atau dengan menggunakan *software* khusus akan terlihat perbedaannya.

Secara umum, sidik jari dapat dibedakan menjadi beberapa tipe menurut *Henry Classification System*, yaitu *loop pattern*, *whorl pattern*, dan *arch pattern*. Hampir 2/3 manusia memiliki sidik jari dengan *loop pattern*, 1/3 lainnya memiliki sidik jari dengan *whorl pattern*, dan hanya 5-10% yang memiliki sidik jari dengan *arch pattern*. Pola-pola sidik jari seperti ini yang digunakan untuk membedakan sidik jari secara umum. Namun, untuk mesin pembaca sidik jari, perbedaan seperti ini tidak cukup. Karena itulah, mesin sidik jari dilengkapi dengan pengenalan lain yang disebut *minutiae*.



Gambar 2.3 *Arch pattern*.



Gambar 2.4 *Whorl Pattern.*



Gambar 2.5 *Loop Pattern.*

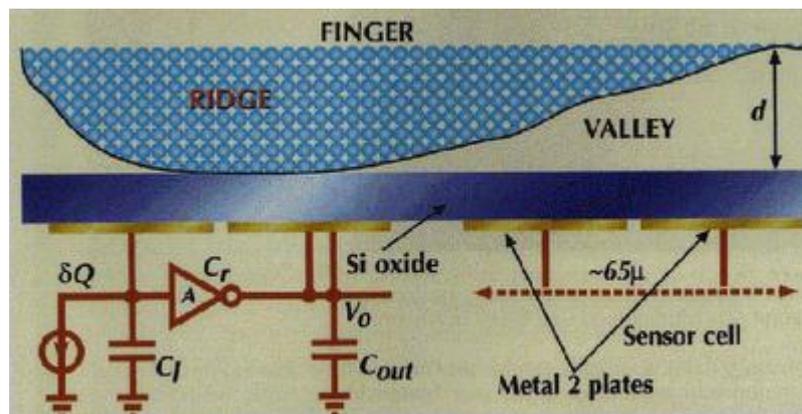
Untuk lebih jelasnya, *minutiae* pada sidik jari adalah titik-titik yang mengacu kepada *crossover* (persilangan dua garis), *core* (putar-balikan sebuah garis), *bifurcation* (percabangan sebuah garis), *ridge ending* (berhentinya sebuah garis), *island* (sebuah garis yang sangat pendek), *delta* (pertemuan dari tiga buah garis yang membentuk sudut) dan *pore* (percabangan sebuah garis yang langsung diikuti dengan menyatunya kembali percabangan tersebut sehingga membentuk

sebuah lingkaran kecil). Mesin pemindai sidik jari akan mencari titik-titik ini dan membuat pola dengan menghubungkan-hubungkan titik-titik ini. Pola yang didapat dengan menghubungkan titik-titik inilah yang nantinya akan digunakan untuk melakukan pencocokan bila ada jari yang menempel pada mesin sidik jari. Jadi, sebenarnya mesin sidik jari tidak mencocokkan pola yang didapat dari minutiae-minutiae ini. Mesin pemindai sidik jari bekerja dengan mengambil gambar dari sidik jari tersebut. Sebenarnya banyak cara dapat dilakukan untuk mengambil gambar sidik jari tersebut namun metode umum yang dilakukan adalah dengan 2 cara yaitu dengan sensor optikal dan kapasitansi.

Inti dari sensor optikal adalah dengan adanya CCD (*Charge Couple Device*) yang cara kerjanya sama seperti system sensor yang terdapat pada kamera digital dan *camcorder*. CCD merupakan chip silikon yang terbentuk dari ribuan atau bahkan jutaan *diode fotosensitif* yang disebut *photosites*, *photodelements* atau disebut juga piksel. Tiap *photosite* menangkap suatu titik objek kemudian dirangkai dengan hasil tangkapan *photosite* lain menjadi suatu gambar. Bila mengambil contoh pada kamera, saat menekan tombol '*capture*' pada kamera digital, sel pengukur intensitas cahaya akan menerima dan merekam setiap cahaya yang masuk menurut intensitasnya. Dalam waktu yang sangat singkat tiap titik *photosite* akan merekam cahaya yang diterima dan diakumulasikan dalam sinyal elektronis. Gambar yang sudah dikalkulasikan dalam gambar yang sudah direkam dalam bentuk sinyal elektronis akan dikalkulasi untuk kemudian disimpan dalam bentuk angka-angka digital. Angka tersebut akan digunakan untuk menyusun gambar ulang untuk ditampilkan kembali. Perekaman gambar yang dilakukan oleh CCD

sebenarnya dalam format ‘*grayscale*’ atau monochrome dengan 256 macam intensitas warna dari putih sampai hitam.

Sensor kapasitif bekerja berdasarkan prinsip pengukuran kapasitansi dari material yang dipindai. Material tersebut bisa saja besi, baja, alumunium, tembaga, kuningan bahkan hingga air. Berbeda dengan pemindai optikal yang menggunakan cahaya, pemindai kapasitif menggunakan arus listrik untuk mengukur besarnya kapasitas.

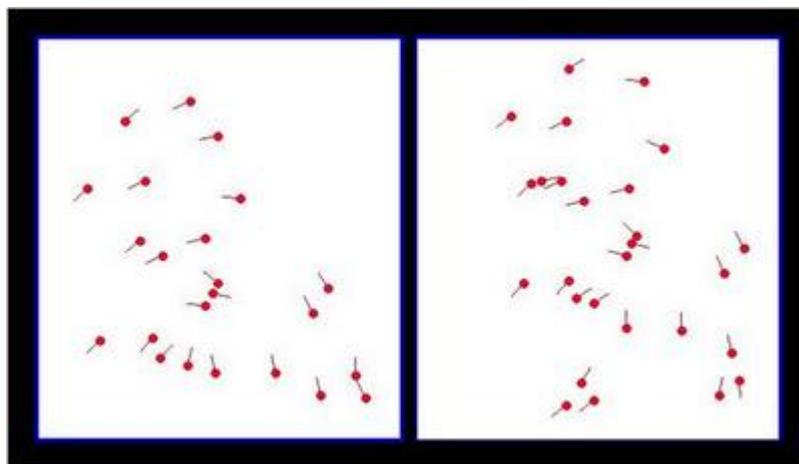


Gambar 2.6 Sensor kapasitif.

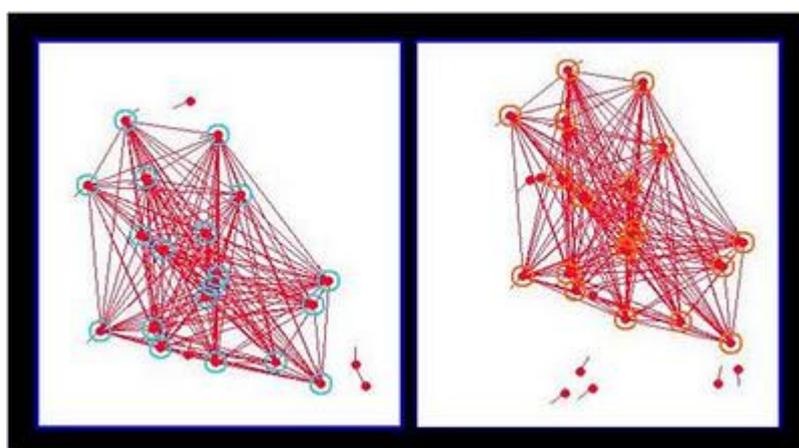
Diagram di atas menunjukkan sebuah sensor kapasitif sederhana. Dimana sensor dibuat dari beberapa chip semi konduktor pada sebuah sel yang tipis. Setiap sel memiliki tempat konduktor yang ditutupi dengan lapisan isolasi. Sensor tersebut terhubung dengan sebuah integrator yang dilengkapi dengan inverter penguat yang dapat menterjemahkan sehingga pada akhirnya akan membentuk sidik jari yang sedang dipindai. Setelah mesin pemindai sidik jari menyimpan *image* atau gambar yang diambil, mesin kemudian melakukan ‘*searching minutiae*’ atau mencari titik-titik *minutiae*.



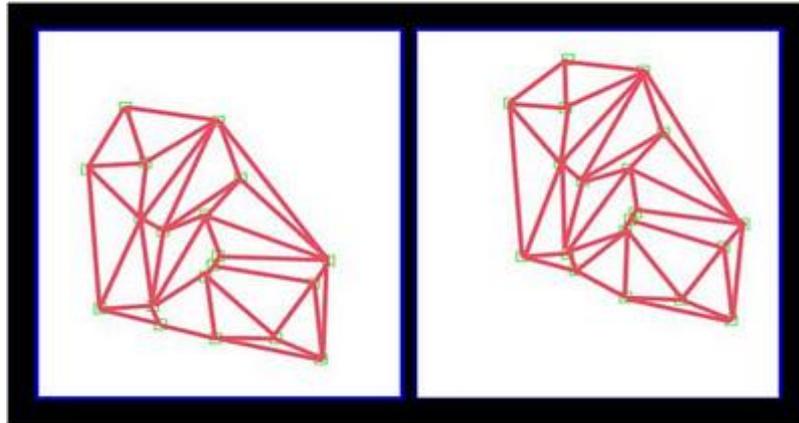
Gambar 2.7 *Searching minutiae.*



Gambar 2.8 *Before match.*



Gambar 2.9 *Match minutiae*



Gambar 2.10 *Matched result*

Jika mesin sidik jari mendapat pola yang sama maka proses identifikasi sudah berhasil. Tidak semua *minutiae* harus digunakan dan pola yang ditemukan tidak harus sama, maka kita dapat menyimpulkan bahwa posisi jari kita pada saat identifikasi pada mesin sidik jari juga tidak harus persis sama dengan pada saat kita menyimpan data sidik jari kita pertama kali pada mesin tersebut. Pemindai sidik jari optikal dan kapasitif dianggap menghasilkan tingkat keamanan yang tinggi, karena tidak bisa dipalsukan dengan foto copy sidik jari, sidik jari tiruan, atau bahkan dengan cetak lilin yang mendetil dengan guratan-guratan kontur sidik jari sekalipun (Joyner R. Oroh, 2014)

Sidik jari merupakan salah satu sistem biometri yang saat ini tersedia selain retina mata, wajah, dan sistem biometri lainnya. Identifikasi sidik jari telah diakui sebagai identifikasi yang canggih karena sidik jari masing-masing manusia sangat unik dan berbeda satu dengan lainnya. Identifikasi sidik jari sebelumnya telah digunakan untuk bidang forensik, investigasi kriminal, dan identifikasi anggota badan. Kelebihan identifikasi biometrik diharapkan dapat menjadi solusi atas kelemahan proses identifikasi personal, sehingga dapat memberikan pelayanan

dan kemudahan. Proses identifikasi personal memiliki dua tahapan, yaitu proses verifikasi dan proses pengenalan. Proses verifikasi dilakukan dengan memasukkan tokes, seperti kartu paspor, SIM, kartu kredit, ATM, dan sebagainya. Sedangkan pada proses pengenalan, memberikan pengenalan dengan menggunakan *password*, PIN, dan sebagainya. Sebagai contoh kartu ATM, proses identifikasi saat memasukkan kartu ke dalam mesin ATM. Sedangkan proses pengenalan yaitu pada saat memasukkan PIN ATM. Proses ini memiliki kelemahan saat proses verifikasi yaitu hilang, lupa, dan salah menempatkan. Sedangkan pada tahap pengenalan terjadi kelupaan PIN dan atau PIN tersebut pernah diubah, dapat ditebak orang lain. Hal ini merujuk pada data pencurian ATM sebesar 25%. Pada sistem biometrik, tahapan prosesnya mengidentifikasi individu-individu berdasarkan keunikan pribadi. Seperti sensor sidik jari yang berbeda tiap manusia. Pengidentifikasi biometrik dianggap lebih handal dibandingkan identifikasi personal. Mekanisme awal yaitu fase penyimpanan (*enrollment*). Pada fase ini masukan akan dipindai oleh sensor biometrik yang merupakan representasi karakteristik digital. Kemudian fase pencocokan. Selanjutnya disimpan dalam database yang diubah menjadi representasi digital. Pada sensor sidik jari yang digunakan, database penyimpanan terdapat pada sensor sidik jari tersebut. Pada fase pengenalan, karakteristik individu dibaca oleh sensor. Selanjutnya dikonversi ke format digital. Selanjutnya dicocokkan dengan identifikasi individu. Kelebihan sistem biometrik khususnya sensor sidik jari dibandingkan dengan sistem identifikasi personal yaitu:

1. Bersifat permanen, tidak dapat diubah.
2. Tidak akan hilang, lupa, tertinggal, dan salah menempatkan.

3. Tidak bisa disalahgunakan oleh orang lain.
4. Praktis dan mudah.

Kekurangan yang dimiliki sensor sidik jari antara lain:

1. Tidak bisa memindai saat kondisi jari basah dan berdebu.
2. Terjadi kesalahan pencocokan dan ketidakcocokan. (Eko Adi Sarwoko, 2006)

2.2. Arduino Uno R3

Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler yang berbasis ATmega 328P. Mempunyai 14 digital input/output, yang 6 pin bisa digunakan sebagai keluaran PWM, 6 analog input, 16 MHz osilator Kristal, penghubung USB, power jack, ICSP header, dan tombol reset. Bagian ini sangat dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler. Contoh, menghubungkan Arduino ke komputer dengan kabel USB atau memberikan tegangan AC ke DC adaptor atau baterai untuk memulainya. Perbedaan mendasar dari sebelumnya adalah tidak menggunakan chip FTDI dan sebagai gantinya menggunakan Atmega8U2 yang diprogram sebagai converter USB-to-serial. Perubahan ini cukup membantu dalam instalasi software Arduino.



Gambar 2.11 *Arduino Uno R3.*

Mikrokontroler	: ATmega328P
Tegangan operasi	: 5V
Tegangan masukan	: 7-12 V
Batas tegangan masukan	: 6-20 V
Digital I/O pin	: 14 (6 bisa digunakan sebagai keluaran PWM)
Pin masukan analog	: 6
Arus DC per pin I/O	: 40 mA
Arus DC untuk pin 3,3V	: 50 mA
	32 KB (ATmega 328) 0,5 KB digunakan untuk flash memory
SRAM	: 2 KB (ATmega328)
EEPROM	: 1 KB (ATmega328)
Clock speed	: 16 MHz

Arduino merupakan sebuah board minimum system mikrokontroler yang bersifat *open source*. Di dalam rangkaian *board* arduino terdapat mikrokontroler AVR seri

ATmega 328 yang merupakan produk dari atmel. Arduino memiliki kelebihan tersendiri dibanding *board* mikrokontroler lainnya selain bersifat *open source*, arduino juga mempunyai bahasa pemrograman berupa bahasa C. Selain itu dalam *board* arduino sendiri sudah terdapat loader yang berupa USB sehingga memudahkan pemakainya ketika memrogram mikrokontroler di dalam arduino. Sedangkan pada kebanyakan *board* mikrokontroler yang lain masih membutuhkan rangkaian loader terpisah untuk memasukan program ketika memrogram mikrokontroler. Port USB tersebut bisa juga digunakan sebagai port komunikasi serial. Arduino menyediakan 20 pin I/O, yang terdiri dari 6 pin input analog dan 14 pin digital input/output. Untuk 6 pin analog sendiri bisa juga difungsikan sebagai output digital jika diperlukan output digital tambahan selain 14 pin yang sudah tersedia. Untuk mengubah pin analog menjadi digital cukup mengubah konfigurasi pin pada program. Dalam board kita bisa lihat pin digital diberi keterangan 0-13, jadi untuk menggunakan pin analog menjadi output digital, pin analog yang pada keterangan board 0-5 kita ubah menjadi pin 14-19. dengan kata lain pin analog 0-5 berfungsi juga sebagai pin output digital 14-16. Sifat *open source* arduino juga banyak memberikan keuntungan tersendiri untuk kita dalam menggunakan *board* ini, karena dengan sifat *open source* komponen yang kita pakai tidak hanya tergantung pada satu merek, namun memungkinkan kita bisa memakai semua komponen yang ada dipasaran. Bahasa pemrograman arduino merupakan bahasa C yang sudah disederhanakan *syntax* bahasa pemrogramannya sehingga mempermudah kita dalam mempelajari dan mendalami mikrokontroler. (www.arduino.cc)

2.3. ATmega 328P

Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer fungsional dalam sebuah chip. Di dalamnya terkandung sebuah inti prosesor, memori, dan perlengkapan *input output*. Dengan kata lain adalah suatu alat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus. Cara kerjanya yaitu membaca dan menulis data. Mikrokontroler merupakan computer di dalam chip yang digunakan untuk mengontrol peralatan elektronik, yang menekankan efisiensi dan efektifitas biaya. Secara harfiah disebut pengendali kecil di mana sebuah sistem elektronik yang sebelumnya banyak memerlukan komponen-komponen pendukung seperti IC TTL dan CMOS dapat direduksi dan akhirnya terpusat serta dikendalikan oleh mikrokontroler ini.

Mikrokontroler digunakan dalam produk dan alat yang dikendalikan secara otomatis. Dengan mengurangi biaya, ukuran, dan konsumsi tenaga dibandingkan dengan mendesain menggunakan mikroprosesor memori dan alat *input output* yang terpisah, kehadiran mikrokontroler membuat kontrol elektrik menjadi lebih ekonomis. Agar sebuah mikrokontroler dapat berfungsi, maka mikrokontroler tersebut memerlukan komponen eksternal yang kemudian disebut dengan sistem minimum. Untuk membuat sistem minimum paling tidak dibutuhkan sistem clock dan reset. Yang dimaksud dengan sistem minimum adalah sebuah rangkaian mikrokontroler yang sudah dapat digunakan untuk menjalankan sebuah aplikasi. Sebuah IC mikrokontroler tidak akan berarti bila hanya berdiri sendiri.

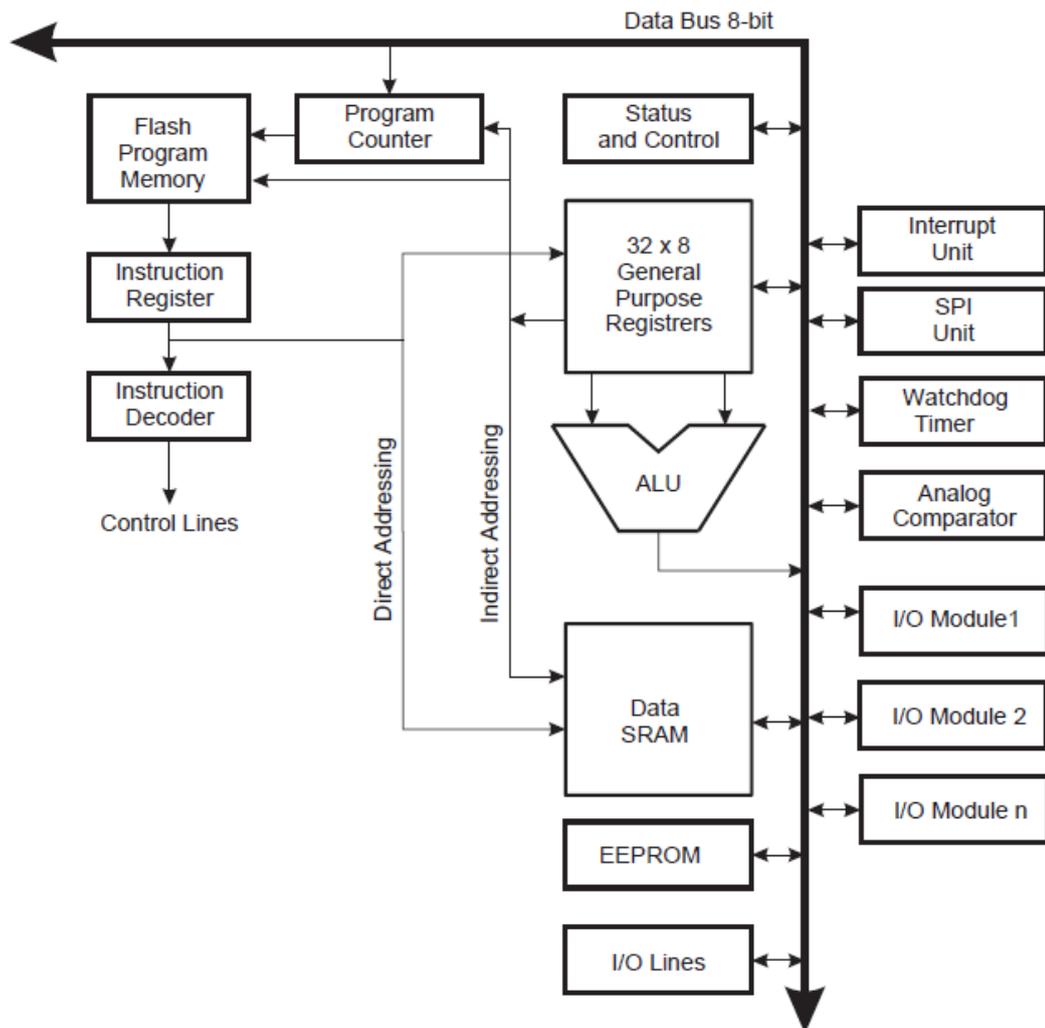
Mikrokontroler yang digunakan pada penelitian ini adalah ATmega 328P jenis AVR. ATmega 328P merupakan mikrokontroler keluaran dari atmel yang mempunyai arsitektur RISC yang di mana setiap proses eksekusi data lebih cepat dari arsitektur CISC. *Mikrokontroler* ATmega 328P memiliki kemudahan program dengan menggunakan program bahasa C dan download program antara PC dengan mikrokontroler sangat cepat. *Mikrokontroler* ATmega 328P memiliki 23 pin yang sudah terintegrasi dengan *Board Arduino Uno R3*. Mikrokontroler ini memiliki beberapa fitur antara lain:

1. 130 macam instruksi yang hampir semuanya dieksekusi dalam satu siklus clock.
2. 32 x 8-bit register serba guna.
3. Kecepatan mencapai 16 MIPS dengan clock 16 Mhz.
4. 32 KB *flash memory* dan pada arduino memiliki *bootloader* yang menggunakan 2 KB dari *flash memory*.
5. Memiliki EEPROM sebesar 1 KB.
6. Memiliki SRAM sebesar 2 KB.

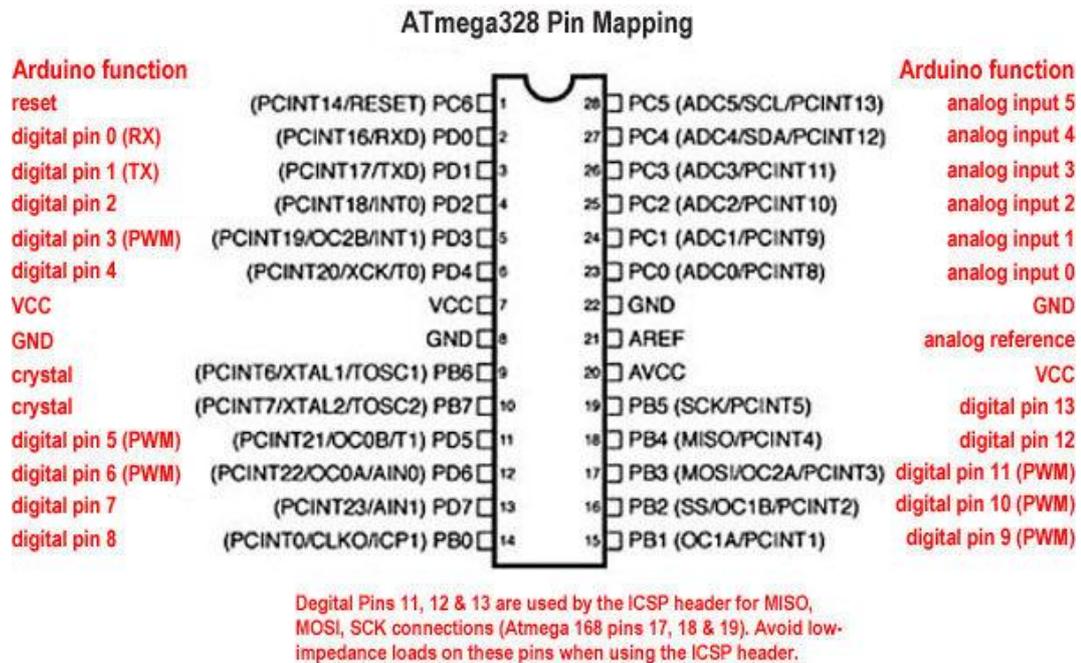
Mikrokontroler ATmega 328P memiliki arsitektur Harvard, yaitu memisahkan memori untuk kode program dan memori untuk data sehingga dapat memaksimalkan kerja dan *parallelism*. Instruksi–instruksi dalam memori program dieksekusi dalam satu alur tunggal, di mana pada saat satu instruksi dikerjakan instruksi berikutnya sudah diambil dari memori program. Konsep inilah yang memungkinkan instruksi–instruksi dapat dieksekusi dalam setiap satu siklus clock. 32 x 8-bit register serba guna digunakan untuk mendukung operasi pada

ALU (*Arithmetic Logic unit*) yang dapat dilakukan dalam satu siklus. Enam dari register serbaguna ini dapat digunakan sebagai 3 buah register pointer 16-bit pada mode pengalamatan tidak langsung untuk mengambil data pada ruang memori data.

Ketiga register pointer 16-bit ini disebut dengan register X (gabungan R26 dan R27), register Y (gabungan R28 dan R29), dan register Z (gabungan R30 dan R31). Hampir semua instruksi AVR memiliki format 16-bit. Setiap alamat memori program terdiri dari instruksi 16-bit atau 32-bit. Selain register serbaguna di atas, terdapat register lain yang terpetakan dengan teknik *memory mapped* I/O selebar 64 byte. Beberapa register ini digunakan untuk fungsi khusus antara lain sebagai register *control Timer/Counter*, Interupsi, ADC, USART, SPI, EEPROM, dan fungsi I/O lainnya. Register–register ini menempati memori pada alamat 0x20h – 0x5Fh. (www.atmel.com)



Gambar 2.12 Arsitektur ATmega328P



Gambar 2.13 Konfigurasi ATmega 328P.

2.4 Sensor Jarak PING

Sensor jarak ping adalah sensor 40 kHz produksi parallax yang banyak digunakan untuk aplikasi kontes robot cerdas. Kelebihan sensor ini adalah hanya membutuhkan 1 sinyal (SIG) selain jalur 5v dan ground.



Gambar 2.14 Sensor jarak ping

Sensor jarak PING mendeteksi jarak objek dengan cara memancarkan gelombang ultrasonik selama $200\mu\text{s}$ kemudian mendeteksi pantulannya. Sensor jarak PING memancarkan gelombang ultrasonic sesuai dengan kontrol dari mikrokontroler pengendali. Berikut spesifikasi sensor jarak ultrasonik ping:

- a. Jarak pengukuran antara 3cm – 3m.
- b. Input trigger-positive TTL pulse, $2\mu\text{s}$ min, $5\mu\text{s}$ tipikal.
- c. Echo hold off $750\mu\text{s}$ dari fall of trigger pulse.
- d. Delay before next measurement $200\mu\text{s}$.
- e. Burst indicator LED menampilkan aktifitas sensor.

Sensor jarak PING mendeteksi jarak obyek dengan cara memancarkan gelombang ultrasonic selama $200\mu\text{s}$ kemudian mendeteksi pantuannya. Sensor jarak PING memancarkan gelombang ultrasonik sesuai dengan kontrol dari mikrokontroler pengendali (pulsa trigger dengan timeout minimal $2\mu\text{s}$). gelombang utrasonik ini melalui udara dengan kecepatan 344 meter per detik, mengenai obyek dan memantul kembali ke sensor. Ping mengeluarkan pulsa *output high* pada pin SIG setelah memancarkan gelombang ultrasonic dan setelah gelombang pantulan terdeteksi Ping akan membuat *output low* pada pin SIG. Lebar pulsa High akan sesuai dengan lama waktu tempuh gelombang ultrasonic untuk 2 kali jarak ukur dengan obyek. (Pahala Alpha Rinaldo Simbolon, 2011)

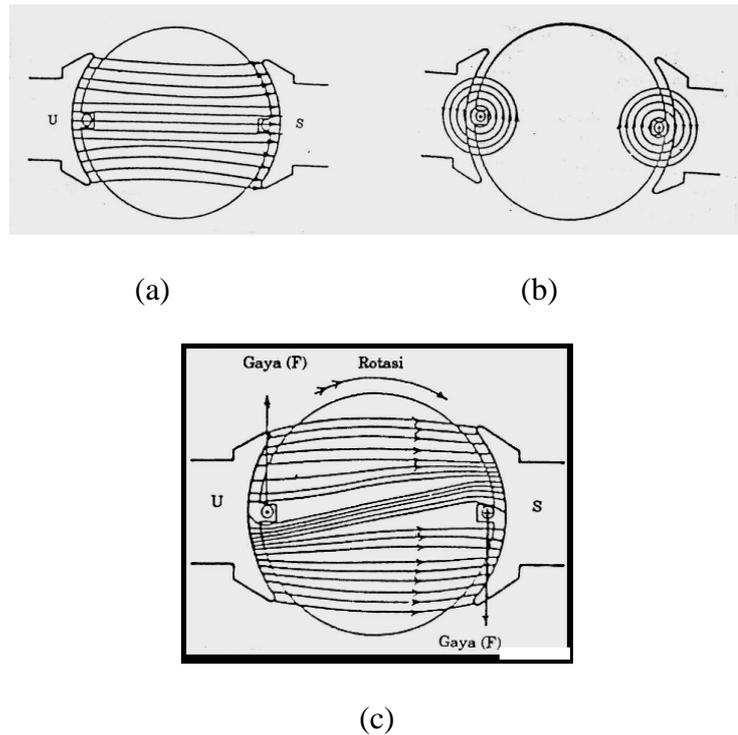
2.5 Motor DC

Motor arus searah (motor DC) adalah mesin yang merubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanis yang berupa putaran. Hampir pada semua prinsip

pengoperasiannya, motor arus searah sangat identik dengan generator arus searah. Kenyataannya mesin yang bekerja baik sebagai generator arus searah akan bekerja baik pula sebagai motor arus searah. Oleh sebab itu sebuah mesin arus searah dapat digunakan baik sebagai motor arus searah maupun generator arus searah.

Berdasarkan fisiknya motor arus searah secara umum terdiri atas bagian yang diam dan bagian yang berputar. Pada bagian yang diam (stator) merupakan tempat diletakkannya kumparan medan yang berfungsi untuk menghasilkan fluksi magnet sedangkan pada bagian yang berputar (rotor) ditempati oleh rangkaian jangkar seperti kumparan jangkar, komutator dan sikat. Motor arus searah bekerja berdasarkan prinsip interaksi antara dua fluksi magnetik. Dimana kumparan medan akan menghasilkan fluksi magnet yang arahnya dari kutub utara menuju kutub selatan dan kumparan jangkar akan menghasilkan fluksi magnet yang melingkar. Interaksi antara kedua fluksi magnet ini menimbulkan suatu gaya.

Penggunaan motor arus searah akhir-akhir ini mengalami perkembangan, khususnya dalam pemakaiannya sebagai motor penggerak. Motor arus searah digunakan secara luas pada berbagai motor penggerak dan pengangkut dengan kecepatan yang bervariasi yang membutuhkan respon dinamis dan keadaan steady-state. Motor arus searah mempunyai pengaturan yang sangat mudah dilakukan dalam berbagai kecepatan dan beban yang bervariasi. Itu sebabnya motor arus searah digunakan pada berbagai aplikasi tersebut. Pengaturan kecepatan pada motor arus searah dapat dilakukan dengan memperbesar atau memperkecil arus yang mengalir pada jangkar menggunakan sebuah tahanan.



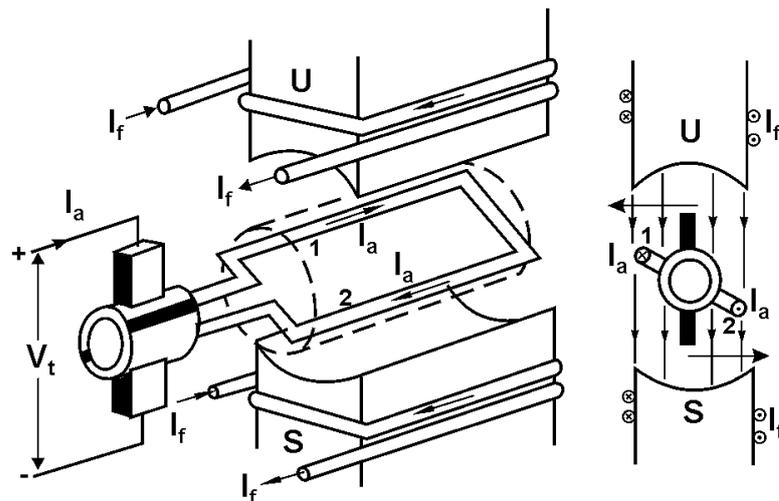
Gambar 2.15 Pengaruh Penempatan Koonduktur.

Setiap konduktor yang mengalirkan arus mempunyai medan magnet disekelilingnya. Kuat medan magnet yang timbul tergantung pada besarnya arus yang mengalir dalam konduktor.

Pada Gambar 2.15(a) menunjukkan sebuah medan magnet seragam yang dihasilkan oleh kutub-kutub magnet utara dan selatan yang arahnya dari kutub utara menuju kutub selatan.. Sedangkan Gambar 2.15(b) menggambarkan sebuah konduktor yang dialiri arus searah dan menghasilkan medan magnet (garis-garis gaya fluksi) disekelilingnya.

Jika konduktor yang dialiri arus tersebut ditempatkan di dalam medan magnet seragam, maka interaksi kedua medan akan menimbulkan medan yang tidak

seragam seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15(c). Sehingga kerapatan fluksi akan bertambah besar di atas sebelah kanan konduktor (dekat kutub selatan) dan di bawah sebelah kiri konduktor (dekat kutub utara) sedangkan kerapatan fluksi menjadi berkurang di atas sebelah kiri konduktor dan di bawah sebelah kanan konduktor. Kerapatan fluksi yang tidak seragam ini menyebabkan konduktor di sebelah kiri akan mengalami gaya ke atas, sedangkan konduktor di sebelah kanan akan mengalami gaya ke bawah. Kedua gaya tersebut akan menghasilkan torsi yang akan memutar jangkar dengan arah putaran searah dengan putaran jarum jam.



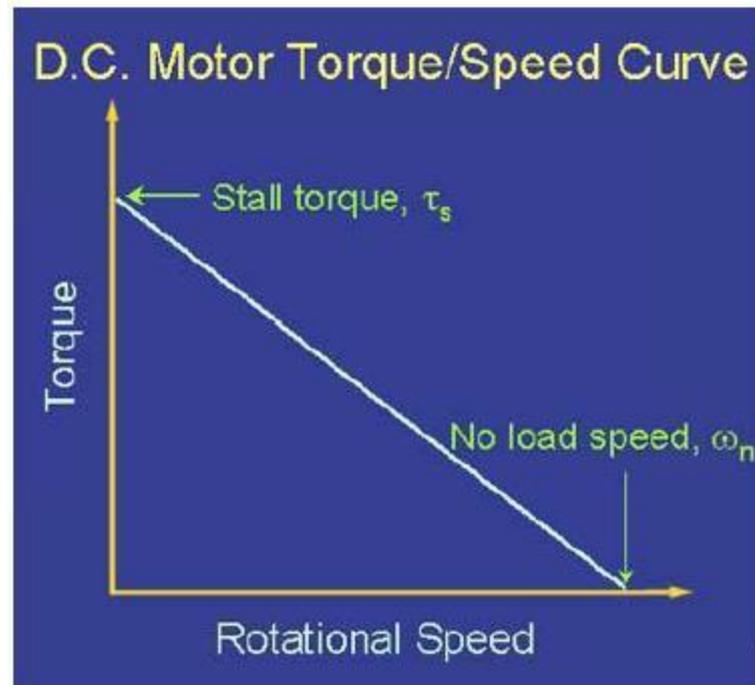
Gambar 2.16 Prinsip Kerja Motor DC.

Gambar di atas merupakan gambaran dari prinsip kerja motor dc. Berdasarkan gambar diatas kedua kutub stator dibelitkan dengan konduktor-konduktor sehingga membentuk kumparan yang dinamakan kumparan stator atau kumparan medan. Misalkan kumparan medan tersebut dihubungkan dengan suatu sumber tegangan, maka pada kumparan medan itu akan mengalir arus medan (I_f).

Kumparan medan yang dialiri arus ini akan menimbulkan fluksi utama yang dinamakan fluksi stator. Fluksi ini merupakan medan magnet yang arahnya dari kutub utara menuju kutub selatan (hal ini dapat dilihat dengan adanya garis-garis fluksi). Apabila pada kumparan jangkar mengalir arus yakni arus jangkar, maka dari hukum Lorentz kita ketahui bahwa apabila sebuah konduktor yang dialiri arus ditempatkan pada sebuah medan magnet maka pada konduktor tersebut akan timbul gaya, maka demikian pula halnya pada kumparan jangkar. Besarnya gaya ini bergantung dari besarnya arus yang mengalir pada kumparan jangkar (I_a), kerapatan fluksi (B) dari kedua kutub dan panjang konduktor jangkar (l). Semakin besar fluksi yang terimbas pada kumparan jangkar maka arus yang mengalir pada kumparan jangkar juga besar, dengan demikian gaya yang terjadi pada konduktor juga semakin besar.

Bila kumparan jangkar dari motor berputar dalam medan magnet dan memotong fluksi utama maka sesuai dengan hukum induksi elektromagnetis maka pada kumparan jangkar akan timbul gaya gerak listrik (ggl) induksi yang arahnya sesuai dengan kaidah tangan kanan, dimana arahnya berlawanan dengan tegangan yang diberikan kepada jangkar atau tegangan terminal (Zuhal, 1998)

Karakteristik yang dimiliki suatu motor dc dapat digambarkan melalui kurva daya dan kurva torsi/kecepatannya, dari kurva tersebut dapat dianalisa batasan-batasan kerja dari motor serta daerah kerja optimum dari motor tersebut.



Gambar 2.17 Kurva torsi dan kecepatan

Dari gambar 4.7 di atas terlihat hubungan antara torsi dan kecepatan suatu motor dc tertentu. Dari grafik terlihat bahwa torsi berbanding terbalik dengan kecepatan putaran. Dengan kata lain terdapat trade off antara besar torsi yang dihasilkan motor dengan kecepatan putaran motor. Dua karakteristik penting terlihat dari grafik yaitu:

1. *Stall torque*, menunjukkan titik pada grafik di mana torsi maksimum tetapi tidak ada putaran pada motor.
2. *No load speed*, menunjukkan titik pada grafik di mana terjadi kecepatan putar maksimum tetapi tidak ada beban pada motor.

Analisa terhadap grafik dilakukan dengan menghubungkan kedua titik tersebut dengan sebuah garis, di mana persamaan garis tersebut dapat ditulis di dalam fungsi torsi atau kecepatan sudut.

$$\tau_{motor} = \tau_s - \frac{\omega \tau_s}{\omega_n} \dots \dots \dots (2.1)$$

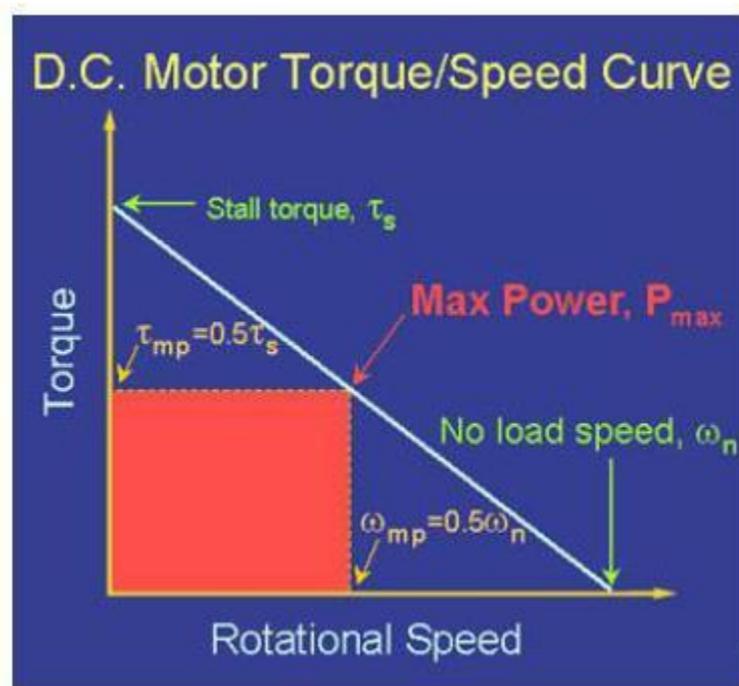
$$\omega_{motor} = (\tau_s - \tau) \cdot \omega_n / \tau_s \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan memasukan persamaan torsi dan kecepatan ke dalam persamaan daya diperoleh (Ranti Permata Sari, 2010):

$$P_{motor}(\omega) = -\frac{\tau_s}{\omega_n} \omega^2 + \tau_s \omega \dots \dots \dots (2.3)$$

$$P_{motor}(\tau) = -\frac{\omega_n}{\tau_s} \tau^2 + \omega_n \tau \dots \dots \dots (2.4)$$

Dari persamaan daya terlihat bahwa daya merupakan perkalian antara torsi dan kecepatan sudut. Dimana di dalam grafik ditunjukkan oleh luas daerah persegi di bawah kurva torsi dan kecepatan. (Ranti Permata Sari, 2010)



Gambar 2.18 Grafik torsi dan kecepatan dengan luas daerah persegi.