

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait Sebelumnya

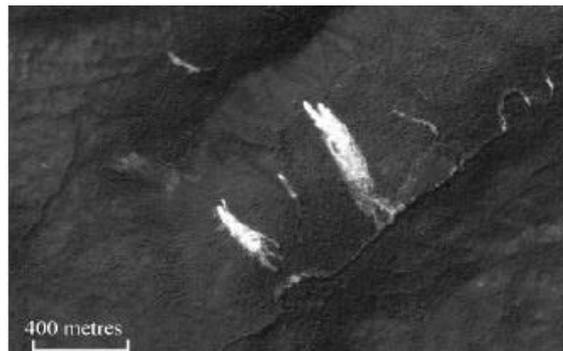
Kemiringan lereng merupakan faktor lain yang mempengaruhi keadaan suatu daerah aliran sungai selain penggunaan lahan. Wilayah daerah aliran sungai bagian hulu yang terletak di dataran tinggi yang pada umumnya didominasi oleh lahan dengan kemiringan lereng di atas 15%. Kondisi wilayah tersebut berpotensi mengalami erosi yang besar. Erosi akan meningkat apabila lereng semakin curam. Selain dari memperbesar jumlah aliran permukaan, semakin curamnya lereng juga memperbesar energi angkut air. Hal ini disebabkan gaya berat yang semakin besar sejalan dengan semakin miringnya permukaan tanah dari bidang horizontal, sehingga lapisan tanah atas yang tererosi akan semakin banyak. Kemiringan lereng menunjukkan besarnya sudut lereng dalam persen atau derajat. Kecuraman lereng 100 persen sama dengan kecuraman 45 derajat. Selain dari memperbesar jumlah aliran permukaan, semakin curamnya lereng juga memperbesar energi angkut air. Jika kemiringan lereng semakin besar, maka jumlah butir-butir tanah yang terpercik ke bawah oleh tumbukan butir hujan akan semakin banyak. Hal ini disebabkan gaya berat yang semakin besar sejalan dengan semakin miringnya permukaan tanah dari bidang horizontal, sehingga lapisan tanah atas yang tererosi akan semakin banyak (Saribun, 2007).

Lahan yang mempunyai kemiringan dapat lebih mudah terganggu atau rusak, lebih-lebih bila derajat kemiringannya besar. Tanah yang mempunyai kemiringan lebih dari 15% dengan curah hujan yang tinggi dapat mengakibatkan tanah longsor (Andrian, 2014).

Pendeteksian berbagai besaran fisis penyebab longsor telah banyak diteliti oleh para ilmuwan di Indonesia, bahkan untuk jangkauan Internasional. Secara umum menurut survey yang dilakukan oleh Hare,dkk pada tahun 2014 teknik pendeteksian longsor yang pernah diteliti dibagi menjadi beberapa metode diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Teknik satelit atau penginderaan jauh

Pemasangan satelit di dalam daerah optis dengan tinggi ruang digunakan untuk memproduksi peta-peta inventori tanah longsor dan untuk memetakan faktor - faktor yang berhubungan dengan kejadian dari tanah longsor seperti morfologi permukaan, struktural dan penutup lahan.



Gambar 1. Gambar tampak pada monitor dengan teknik penginderaan jauh (Nick Roberts, 2005)

2. Teknik berbasis geodesi

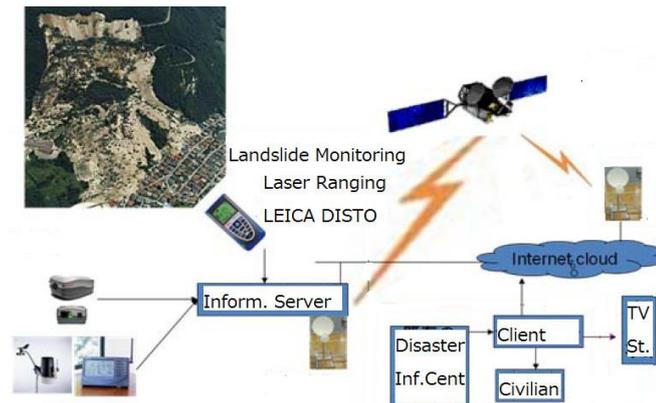
Penyebaran jaringan vertikal dan horisontal di dalam area penyelidikan dan peralatan kendali di dalam mengubah bentuk daerah. Vertikal atau Horisontal Bergeraknya gambar murni digunakan untuk menentukan jumlah dari pergerakan dan penaksiran parameter-parameter



Gambar 2. Alat deteksi citra dengan ketepatan tinggi (Hare dkk, 2014).

3. Telusuran Laser *Terrestrial*

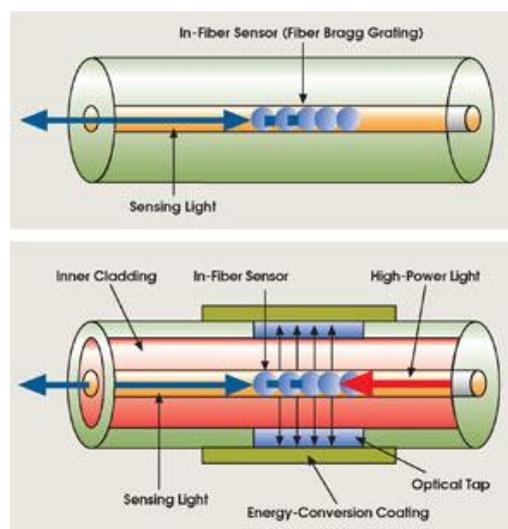
Teknik ini gunakan Pelacakan Ringan dan Berkisar (LiDAR) teknologi yang memproduksi terperinci sensor 3D. Seperti penyaring gambar tv dapat menyediakan 100 sampai 300 meteran mencakup (sedangkan daerah terpanjang yang bisa adalah 1 sampai 2 km. RGB nilai-nilai warna digunakan di dalam sensor. TLS penyaring gambar tv menjulang di satu tripod yang menyediakan baik tampak dari gambar vertikal. Teknik ini digunakan untuk pendeteksian resiko tiang pemantauan kerusakan seperti gempa bumi. Sistem kerja telusuran laser *terrestrial* dapat digambarkan pada gambar 3.



Gambar 3. Sistem Kerja Telusuran Laser *Terrestrial* (Hare dkk, 2014).

4. Sensor *Fiber Optic*

Serat optik (*optical fibre/fiber optic*) merupakan pandu gelombang (cahaya) yang bekerja didasarkan adanya efek pantulan sempurna oleh karena adanya perbedaan indek bias material. Serat optik terdiri dari inti (*core*) dan pembungkus (*cladding*). Cahaya akan merambat didalam serat optik karena dipantulkan dengan sempurna pada batas antar *core dan cladding*. Dalam perambatannya cahaya mengalami pengurangan daya (*loss*) akibat adanya penyerapan oleh material fiber hamburan dan adanya lengkungan (*bending*). Sistem kerja fiber optik digambarkan pada gambar 4.



Gambar 4. Sistem Kerja Fiber Optik (Hare dkk, 2014).

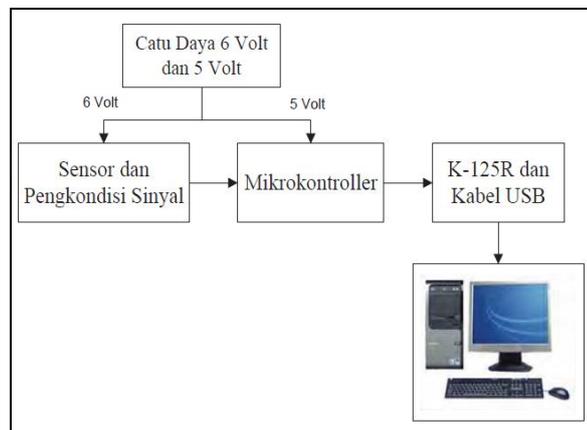
5. *Senslide Detector* (Sistem Peringatan Dini)

Senslide Detector, sistem sensor didistribusikan untuk memprediksi longsor. *Senslide Detector* muncul dari kebutuhan untuk mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh tanah longsor kehidupan manusia dan jaringan kereta api di daerah perbukitan India. Solusi ini berlaku ide dari sistem terdistribusi ke koleksi node sensor murah interkoneksi oleh link nirkabel. Tanah longsor dapat disebabkan oleh maraknya regangan karena meresap air hujan dalam batuan celah, menyebabkan batu fraktur dan geser ke bawah lereng. *Senslide* menggunakan sebuah deret pengukur regangan tunggal-sumbu yang terhubung ke node murah (khusus, TelosB motes), masing-masing dengan CPU, baterai, dan pemancar nirkabel. Data sensor kemudian dikumpulkan oleh mode pengukuran kemudian didistribusikan dan diteruskan di seluruh jaringan nirkabel menuju titik pengumpulan data. Tempat pengumpulan ini mengumpulkan data dan dapat melakukan langkah-langkah lebih lanjut seperti data pra-pengolahan dan kompresi. Akhirnya, data disediakan melalui jaringan wide-area seperti GSM / UMTS untuk akses jarak jauh yang aman melalui Internet. Gambar 5 merupakan contoh realisasi peringatan dini tanah longsor.



Gambar 5. Instalasi sensor dipengunungan Alpen (Swiss) (Hare dkk, 2014).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Lisnawati,dkk pada tahun 2012, pergeseran tanah dapat dideteksi dengan menggunakan sensor extensometer. Pada penelitian ini, sensor extensometer sebelum digunakan sebagai pendeteksi getaran tanah, terlebih dahulu dilakukan pengukuran input output sensor untuk mengetahui karakteristiknya. Pengujiannya dilakukan dengan menggeser tali per 5mm. Pergeseran potensiometer menghasilkan perubahan tegangan keluaran ketika rangkaian sensor dihubungkan ke tegangan. *Range* tegangan keluaran ketika rangkaian sensor dihubungkan ke tegangan. *Range* tegangan keluaran sensor yang diperoleh sebesar 0,016 hingga 4,800 volt. Tegangan ini selanjutnya akan diubah menjadi data digital oleh ADC 8 bit mikrokontroler dan dikirimkan ke komputer untuk diolah dan ditampilkan ke monitor dalam bentuk nilai tegangan dan pergeseran yang terdeteksi oleh sensor. Rancang alat pada penelitian ini dapat digambarkan pada diagram blok seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.

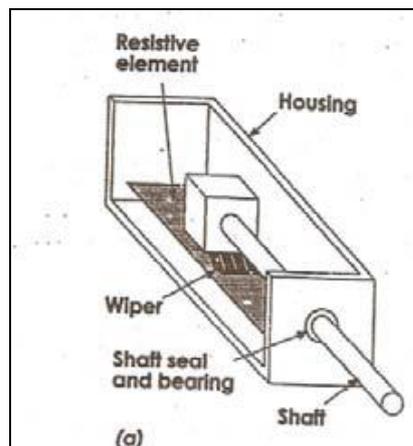


Gambar 6. Diagram Blok Rancang Alat (Lisnawati dkk, 2012)

Pada zaman modern seperti saat ini, tanah longsor tak hanya sering ditemukan pada daerah pegunungan yang memiliki tebing dan memiliki tingkat curah hujan yang tinggi. Namun, Penambahan beban lalu lintas pada konstruksi perkerasan

jalan dan perumahan akan mempengaruhi pergerakan tanah di bawahnya yang akan menyebabkan keretakan di jalan raya dan tanah longsor. Sistem pendeteksi getaran jenis ini dapat dideteksi dengan sistem digital. Pada penelitian sebelumnya, pergeseran tanah diukur dengan menggunakan potensiometer geser.

Salah satu jenis potensiometer adalah potensiometer geser, yaitu potensiometer yang nilai tahanannya dapat diubah dengan cara menggeser *knop* geser yang ada pada potensiometer tersebut. Gambar 7 memperlihatkan sebuah potensiometer geser, yang memiliki sebuah pita film, disebut sebagai jalur (*track*), yang terbuat dari karbon. Jalur ini terbuat dari bahan keramik yang bersifat konduktif. Ujung jalur terhubung ke dua buah terminal potensiometer.



Gambar 7. Potensio Geser (Lisnawati dkk, 2012)

Pergeseran dari potensiometer geser menyebabkan perubahan pada hambatan keluaran yang dapat mewakili besar pergeseran tanah. Potensiometer geser dihubungkan dengan sumber arus tetap, sehingga tegangan keluarannya sebanding dengan pergeseran translasinya. Perubahan resistansi dapat dihitung dengan seperti pada persamaan 1.

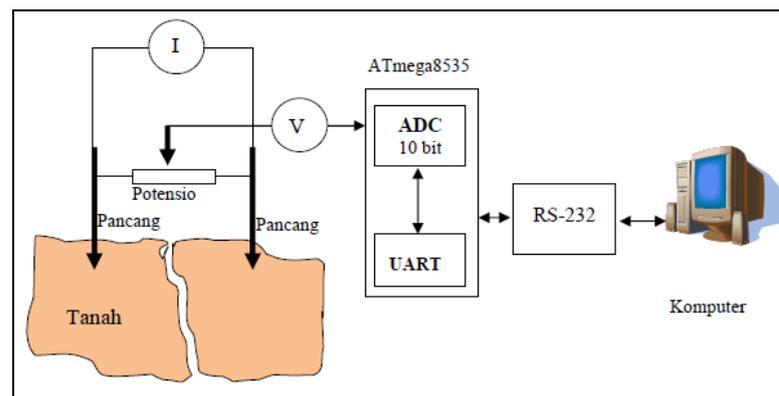
$$dR = \frac{\rho}{A} dl \dots\dots\dots(1)$$

Nilai resistansi yang dihasilkan akan berbanding lurus dengan tegangan. Seperti yang ditunjukkan oleh hukum ohm yang ditunjukkan pada persamaan 2 dan 3.

$$V = i \cdot R \dots\dots\dots(2)$$

$$V \approx R \dots\dots\dots(3)$$

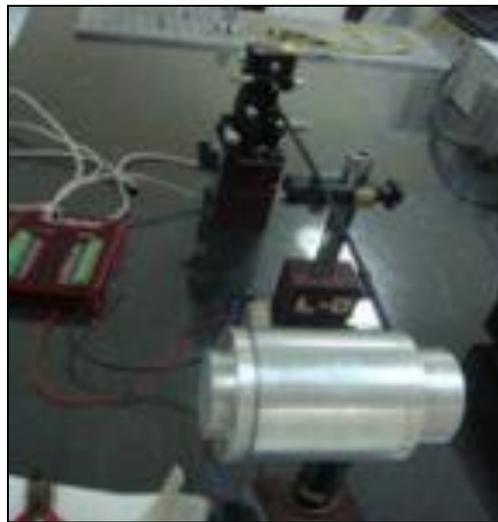
Tegangan keluaran tersebut dibaca oleh mikrokontroler ATmega8535. Untuk selanjutnya diproses dan ditampilkan secara grafis di layar monitor PC untuk melihat bagaimana perolehan data pergeseran tanah. Sistem kerja alat ini dapat digambarkan pada gambar 8 (Suryono, 2008).



Gambar 8. Diagram blok sistem pergeseran tanah digital (Suryono, 2008).

Dalam pengembangannya, pengukuran gejala fisis longsor juga dianalisa dengan prinsip – prinsip optik. Bagian terpenting dari sistem ekstensometer adalah sensor serat optik. Serat optik (*optical fibre/fiber optic*) merupakan pandu gelombang (cahaya) yang bekerja didasarkan adanya efek pantulan sempurna oleh karena adanya perbedaan indek bias material. Serat optik terdiri dari inti (*core*) dan pembungkus (*cladding*) Cahaya akan merambat didalam serat optik karena dipantulkan dengan sempurna pada batas antar *core dan cladding*. Dalam

perambatannya cahaya mengalami pengurangan daya (*loss*) akibat adanya penyerapan oleh material fiber hamburan dan adanya lengkungan (*bending*). *Bending loss* (atau rugi rugi pembengkokan) merupakan salah satu dari beberapa sumber *loss* serat optik. Rusi rugi ini disebabkan oleh pembengkokan serat optik melebihi diameter tertentu. Rugi rugi semacam ini dalam komunikasi serat optik sangat merugikan. Namun dari sisi lain dapat dimanfaatkan sebagai sensor pergeseran dan dapat digunakan sebagai extensometer. Bentuk jadi extensometer dapat ditunjukkan pada gambar 9.



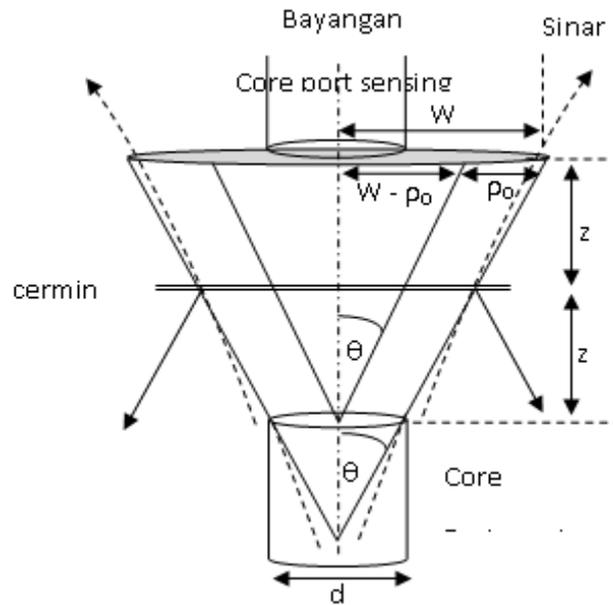
Gambar 9. Bentuk jadi extensometer (Widiatmoko dkk, 2010).

Keluaran dari sumber cahaya yang distabilkan dayanya dibagi menjadi 2 menggunakan kopler serat optik dengan perbandingan tertentu. Satu bagian ditangkap oleh fotodetektor 1 dan dikuatkan untuk digunakan sebagai daya *reference* sedang bagian lain dimasukkan kedalam sensor. Transmisi dari sensor ditangkap oleh fotodetektor 2 serta dikuatkan untuk dipakai sebagai sinyal transmisi. Keluaran dari kedua photodetektor di baca oleh komputer melalui analog to digital untuk selanjutnya diperbandingkan. Apabila terjadi *loss* pada sensor akibat adanya pergeseran maka sistem baca akan optic data dan rekaman

secara kontinyu untuk selanjutnya sebagai data pergeseran tanah. Pengamatan besarnya pergeseran tanah sebagai fungsi rugi transmisi cahaya dapat dilakukan pada beberapa posisi sensor agar didapat data yang lebih akurat. Sistem sensor nantinya diletakkan disuatu struktur lereng yang telah diketahui rawan longsor. Data yang diperoleh dapat dimonitor, dicatat, disimpan serta diolah pada PC dengan bantuan suatu sistem pengolah data dan software untuk kemudian dapat dikirim melalui suatu telepon genggam setelah lewat modem atau ditindaklanjuti dengan suatu sistem peringatan dini berupa alarm ke masyarakat sekitar atau dikomunikasikan secara rutin ke pos pengamatan melalui komunikasi dengan telepon genggam (Widiatmoko dkk, 2010).

Serat optik juga digunakan untuk mendeteksi sensor getaran, sistem kerja sensor ini menggunakan *directional coupler* sebagai sensor getaran berbasis modulasi intensitas adalah perubahan intensitas cahaya akibat perubahan posisi cermin yang memantulkan kembali cahaya yang masuk ke *directional coupler* melalui port sensing. Port sensing *directional coupler* bertindak sebagai pengirim dan penerima berkas cahaya pantulan dari obyek yang berbentuk cermin datar. Pergeseran cermin akan menyebabkan perubahan daya optik yang diterima oleh *port sensing*. Perubahan daya optik tersebut selanjutnya dideteksi melalui port deteksi ke fotodekoder. Cermin uji diletakkan didepan port sensing dan digetarkan oleh pembangkit gelombang yang frekuensinya dapat diubah – ubah. Berkas pantulan cermin uji diteruskan ke port deteksi yang dapat mendeteksi perubahan intensitas cahaya yang dihasilkan karena perubahan posisi cermin uji. Perubahan – perubahan intensitas cahaya yang dihasilkan cermin uji sebanding dengan besarnya frekuensi getaran yang mengendalikan cermin uji. Skema berkas cahaya

pantulan dari cermin yang diterima *core* port sensing dapat ditunjukkan oleh gambar 10.



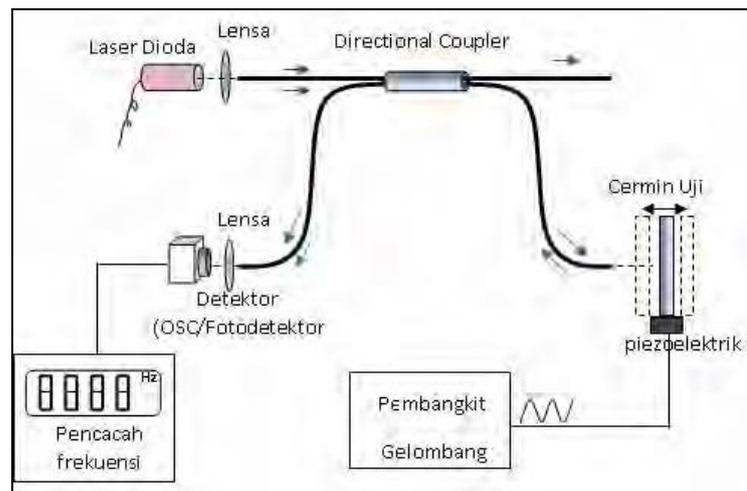
Gambar 10. Skema berkas cahaya pantulan dari cermin yang diterima *core* port sensing (Hariyanto dkk, 2011).

Laser mempunyai berkas keluaran berbentuk Gaussian, sehingga Analisis perubahan daya optik pada port sensing akibat pergeseran cermin dilakukan menggunakan pendekatan berkas Gaussian. Besarnya daya optik yang diterima oleh bidang lingkaran dengan jari-jari ρ_a tegak lurus terhadap sumbu berkas Gaussian dinyatakan melalui Persamaan 4.

$$P = P_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{2\rho_0^2}{z^2 w^2}\right) \right] \dots \dots \dots (4)$$

Dengan P_0 dan $W(z)$ masing-masing menyatakan daya optik total dan jari-jari berkas Gaussian. Sedangkan z menyatakan posisi bidang lingkaran penerima berkas terhadap sumber, dalam hal ini port sensing sebagai pengumpan berkas.

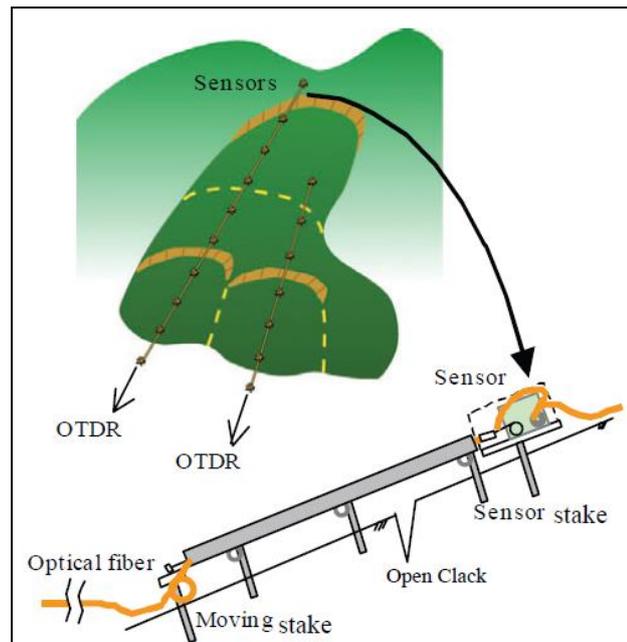
Karena port sensing berperan sebagai pengumpan sekaligus bidang penerima berkas pantulan dari cermin, maka posisi pengumpan terhadap penerima berkas menjadi $2z$. hubungan antara jari-jari berkas (W) terhadap pergeseran cermin (z), digunakan bantuan geometri dengan metode bayangan seperti diperlihatkan pada Gambar 11 (Hariyanto dkk, 2011).



Gambar 11. Susunan peralatan eksperimen *directional coupler* sebagai sensor getaran (Hariyanto dkk, 2011).

Pemantauan longsor menggunakan prinsip fiber optic juga telah diujicobakan pada daerah rawan longsor di Takisaka, Jepang. Sistem serat optic yang digunakan untuk penginderaan berjumlah 18 sensor dan dipasang di akhir longsor Takisaka dan menghadap ke Sungai Aga. Dari berbagai metode serat penginderaan optik, pada penelitian ini dipilih metode OTDR (*Optical Time Domain Metode Reflectometry*). Ketika sensor dipasang membungkuk dalam menanggapi pergeseran tanah. Beberapa sensor yang dipasang disepanjang garis pengukuran serat optic, dan detector OTDR mendeteksi hilangnya transmisi cahaya yang disebabkan oleh lentur dari serat optic, pada lokasi sensor secara

bersamaan. Sebagai hasil dari pengukuran, nilai perolehan yang di peroleh daris sensor akan dihubungkan ke komputer untuk selanjutnya dilakukan monitoring. Contoh penggunaan fiber optik dalam hal ini seperti yang ditunjukkan pada gambar 12 (Higuchi,2008).



Gambar 12. Sistem monitoring dengan fiber optik pada tanah longsor (Higuchi,2008).

Pada penelitian yang lain, pendeteksian tanah longsor menggunakan teknik penginderaan jarak jauh dalam masa batuan di Betic Cordilleras Spanyol selatan. Penelitian ini menggunakan pendekatan visual untuk mengidentifikasi longsor. Untuk menganalisis tekstur dan menggabungkannya dengan klasifikasi digital beberapa teknik digunakan untuk mengolah citra, mulai dari penyaringan gambar pankromatik dengan komposisi warna dan fusi, indeks vegetasi (NDVI) kemudian dan menganalisis komponen utama citra sesuai dengan jenis sensor. Penelitian ini dilanjutkan dengan menghitung statistic dasar seluruh gambar dan piksel yang

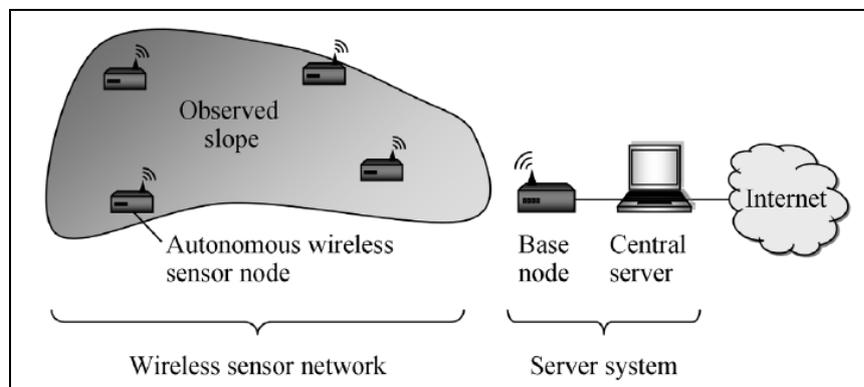
sesuai dengan longsor yang berbeda tipologinya, baik pada batu jatuh, slide batuan dan aliran puing – puing. Kemudian digunakan juga koefisien kolmogorov-Smirnov untuk memperkirakan hubungan antara gambar dan gerakan. Jatuh batu muncul dalam daerah yang lebih gelap dari gambar saat slide baru dan terutama arus puing – puing muncul dalam zona yang lebih jelas. Dengan cara ini, klasifikasi digital memungkinkan mengidentifikasi area yang dimobilisasi oleh tipologi, namun sebagian harus dicampur dengan penggunaan lahan lain seperti tanah, batuan segar dan bahan alluvial (Fernandez dkk, 2008).

Berkaitan dengan penelitian diatas, Arai seorang ilmuan jepang pada tahun 2012 juga meneliti mengenai monitoring tanah longsor dengan sistem untuk mendeteksi curah hujan yang mempengaruhi penginderaan dalam pengukuran jarak antara peralatan laser dan juga target penelitian. Pada penelitian ini, laser merupakan peralatan yang memulai untuk mendeteksi gerakan awal longsor, sementara satelit penginderaan jauh untuk bantuan bencana longsor. Beberapa millimeter gerakan awal longsor dapat dideteksi dengan sistem kisaran laser.

Pada pengembangan pemantauan longsor juga digunakan jaringan sensor nirkabel. Jaringan sensor nirkabel merupakan salah satu metode yang berkembang yang secara luas digunakan untuk pengembangan sistem pemantauan realtime. *Wireless Sensor Network* (WSN) adalah salah satu yang mendorong teknologi yang dapat digunakan untuk monitoring real time, dimana informasi didistribusikan secara local dari landslides. WSN memiliki kemampuan penyebaran skala besar, perawatan yang rendah, skalabilitas, kemampuan beradaptasi untuk kebutuhan pemeliharaan yang membuatnya cocok untuk monitoring real time. Sensor jaringan yang digunakan adalah jaringan *ad hoc wireless* yang berarti bahwa setiap

sensor mendukung *routing multi hop* yaitu sensor yang dapat meneruskan paket data. Sensor ini, dapat mendeteksi gerakan kecil pada ketidakstabilan tanah atau lereng karena beberapa alasan seperti kelembaban dielektrik dan tekanan pori yang terjadi selama tanah longsor (Mishra.dkk, 2011).

Pemantauan longsor dengan menggunakan sensor nirkabel juga diteliti oleh Georgieva dkk pada tahun 2012. Pada penelitian ini, agen perangkat lunak yang telah tertanam ke sensor nirkabel untuk terus mengumpulkan dan menganalisis data percepatan tanah. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa agen perangkat lunak bereaksi dengan tepat pada perubahan lingkungan. Misalnya, dengan meningkatkan frekuensi pengukuran. Dimana data yang telah dikumpulkan dapat dikirim ke sistem server untuk dianalisis lebih lanjut. Sistem kerja alat dapat ditunjukkan oleh gambar 13.



Gambar 13. Monitoring tanah longsor dengan *wireless* (Georgieva dkk, 2012)

Selain disebabkan oleh kondisi tanah yang tidak padat, pergeseran bebatuan, ataupun curah hujan yang tinggi. Tanah longsor juga dapat disebabkan oleh getaran yang dialami oleh tanah itu sendiri. Untuk mengukur tingkat getaran tanah, dapat dilakukan dengan menggunakan pesawat sebagai sumber getar dan juga sensor non kontak yang menyederhanakan uji tingkat getaran tanah *ground*

vibration tests (GVTs). Perangkat yang disebut dengan sensor NIrV (*Noncontact Inertia Reference Velocity*) yang ditunjukkan oleh gambar 14, memungkinkan pengukuran respon derajat kebebasan. Selama GVT, fungsi respon frekuensi (FRFs) diperoleh dalam hal kecepatan per unit kekuatan, yang biasa disebut "mobilitas". Dengan metode ini reduksi data dengan fungsi mobilitas sangatlah mudah (Allen, 2010).



Gambar 14. Sensor NIrV (*Noncontact Inertia Reference Velocity*) (Allen, 2010)

2.2 Tanah Longsor

Tanah longsor adalah perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan tanah, atau material campuran tersebut, bergerak ke bawah atau keluar lereng. Pada prinsipnya tanah longsor terjadi bila gaya pendorong pada lereng lebih besar daripada gaya penahan. Gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah. Sedangkan gaya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut lereng, air, beban serta berat jenis tanah batuan.

Faktor – faktor penyebab tanah longsor, diantaranya adalah

1. Hujan
2. Lereng Terjal
3. Tanah yang kurang padat dan tebal
4. Batuan yang kurang kuat
5. Jenis Tata Lahan
6. Getaran
7. Susut muka air danau atau bendungan
8. Adanya beban tambahan
9. Pengikisan/erosi
10. Adanya material timbunan pada tebing
11. Bekas longsoran lama
12. Adanya bidang diskontinuitas (bidang tidaksinambung)
13. Penggundulan hutan
14. Penggundulan hutan

Ada 6 jenis tanah longsor, yakni :

1. Longsoran Translasi

Longsoran translasi adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata atau menggelombang landai. Peristiwa ini dapat ditunjukkan oleh gambar 15



Gambar 15. Longsoran Translasi (VSI, 2014).

2. Longsoran Rotasi

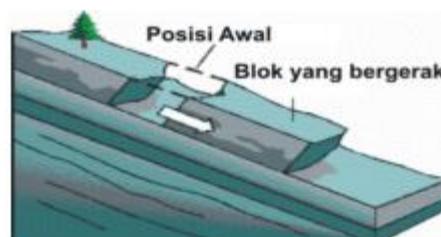
Longsoran rotasi adalah bergerak-nya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung. Peristiwa ini dapat ditunjukkan oleh gambar 16.



Gambar 16. Longsoran Rotasi (VSI, 2014).

3. Pergerakan Blok

Pergerakan blok adalah perpindahan batuan yang bergerak pada bidang gelincir berbentuk rata. Longsoran ini disebut juga longsoran translasi blok batu. Peristiwa ini dapat ditunjukkan oleh gambar 17.



Gambar 17. Pergerakan Blok (VSI, 2014).

4. Runtuhan Batu

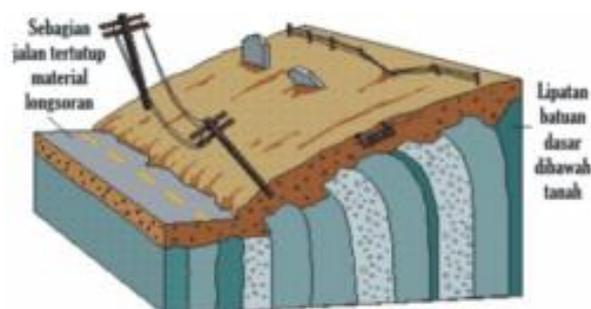
Runtuhan batu terjadi ketika sejumlah besar batuan atau material lain bergerak ke bawah dengan cara jatuh bebas. Umumnya terjadi pada lereng yang terjal hingga menggantung terutama di daerah pantai. Batu-batu besar yang jatuh dapat menyebabkan kerusakan yang parah. Peristiwa ini dapat ditunjukkan oleh gambar 18.



Gambar 18. Runtuhan Batu (VSI, 2014).

5. Rayapan Tanah

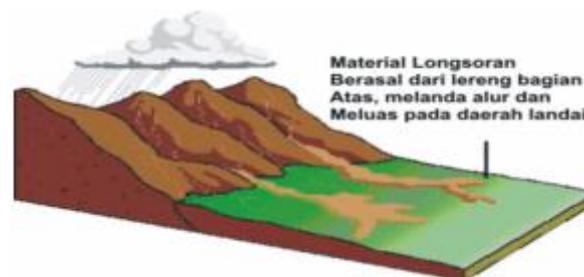
Rayapan Tanah adalah jenis tanah longsor yang bergerak lambat. Jenis tanahnya berupa butiran kasar dan halus. Jenis tanah longsor ini hampir tidak dapat dikenali. Setelah waktu yang cukup lama longsor jenis rayapan ini bisa menyebabkan tiang-tiang telepon, pohon, atau rumah miring ke bawah. Peristiwa ini dapat ditunjukkan oleh gambar 19.



Gambar 19. Rayapan Tanah (VSI, 2014).

6. Aliran Bahan Rombakan

Jenis tanah longsor ini terjadi ketika massa tanah bergerak didorong oleh air. Kecepatan aliran tergantung pada kemiringan lereng, volume dan tekanan air, dan jenis materialnya. Gerakannya terjadi di sepanjang lembah dan mampu mencapai ratusan meter jauhnya. Di beberapa tempat bisa sampai ribuan meter seperti di daerah aliran sungai disekitar gunungapi. Aliran tanah ini dapat menelan korban cukup banyak. Peristiwa ini dapat ditunjukkan oleh gambar 20 (VSI, 2014).



Gambar 20. Aliran Bahan Rombakan (VSI, 2014).

Gempa bumi merupakan gejala fisik yang ditandai dengan bergetarnya bumi dengan berbagai intensitas. Getaran-getaran tersebut terjadi karena terlepasnya energi secara tiba-tiba. Menurut teori *elastic rebound* yang dikemukakan oleh Reid menjelaskan bahwa energi elastik atau strain akan terakumulasi pada zona sesar atau lempeng aktif akibat adanya pergerakan relatif di antara kedua blok zona patahan tersebut. Akumulasi strain ini kemudian dilepaskan sekaligus dalam satu hentakan keras. Siklus gempa mempunyai rentang waktu antar gempa dan besar gempa yang selalu sama apabila gaya-gayanya tetap.

Percepatan getaran tanah maksimum adalah suatu nilai yang dihitung di titik pengamatan atau titik penelitian pada permukaan bumi dari riwayat gempa bumi dengan nilai perhitungan dipilih yang paling besar. Nilai percepatan getaran tanah yang akan diperhitungkan sebagai salah satu bagian dalam perencanaan bangunan tahan gempa adalah nilai percepatan tanah maksimum (Hadi dkk, 2012).

Getaran adalah gerakan bolak-balik yang ada di sekitar titik keseimbangan di mana kuat lemahnya dipengaruhi besar kecilnya energi yang diberikan. Satu getaran frekuensi adalah satu kali gerak bolak-balik penuh (Godam, 2014).

2.3 Potensio Linier

Potensiometer (*Potentiometer*) adalah resistor tiga terminal yang nilai tahanannya dapat diubah dengan cara menggeser (untuk potensio jenis geser) atau memutar (untuk potensio jenis putar) tuasnya, penggunaan tuas dimaksudkan bahwa rangkaian yang menggunakan potensiometer ini sering dilakukan pengaturan, dan ditujukan untuk pemakai, pada pesawat televisi contoh bagian yang sering dilakukan pengaturan adalah bagian kontrol audio, brightness, contrast, dan color. Jenis potensiometer ada dua macam, yaitu linier (lin) dan logaritmik (log). Untuk jenis linier skala penggeseran tuas (untuk yang model geser) atau besarnya sudut pemutaran tuas (untuk yang model putar) proporsional atau berbanding lurus dengan perubahan tahanannya. Jenis potensio ini dapat ditunjukkan oleh gambar 21. Sedangkan jenis logaritmik skala penggeseran tuas (untuk yang model geser) atau besarnya sudut pemutaran tuas (untuk yang model putar) tidak berbanding lurus tetapi sesuai dengan grafik fungsi logaritmik (sesuai hukum logaritma) terhadap perubahan tahanannya, potensiometer logaritmik dapat dibuat dari potensiometer

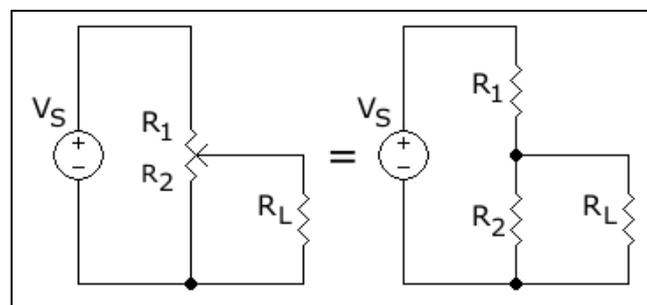
linier ditambah dengan resistor eksternal, karena potensiometer yang benar-benar logaritmik relatif sangat mahal, potensiometer logaritmik lazim digunakan pada pengatur volume audio (Nur, 2012).



Gambar 21. Potensio Linier (Nur, 2012).

Cara kerja potensio geser (Potensio Linier) adalah hambatan akan berubah jika saklar di geser. Pada umumnya, bahan yang digunakan untuk membuat potensiometer ini adalah karbon. Adapula yang terbuat dari kawat, namun saat ini sudah jarang digunakan karena ukurannya yang besar. Pada potensiometer geser ini, perubahan nilai resistansinya hanyalah perubahan secara linier (Chandara, F dan Arifianto D, 2010).

Dalam operasionalnya, teori aplikasi perubahan resistansi pada potensio linier ditunjukkan pada gambar 22.



Gambar 22. Rangkaian pembagi tegangan pada potensio linier

Tegangan R_L dapat dihitung dengan:

$$V_L = \frac{R_2 R_L}{R_1 R_L + R_2 R_L + R_1 R_2} \cdot V_s. \dots\dots\dots (5)$$

Jika R_L besar dibandingkan dengan resistensi lain (seperti masukan ke penguat operasional), tegangan output dapat didekati dengan persamaan sederhana:

$$V_L = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_s. \dots\dots\dots (6)$$

Dalam hal ini, jika skrup pada potensio linier bergeser, maka resistansi (R_1 dan R_2) akan berubah, maka berdasarkan persamaan 5 dan 6 nilai tegangan yang dihasilkanpun akan berubah secara linier terhadap perubahan resistansi. Pada komputer analog, potensiometer presisi tinggi yang digunakan untuk skala hasil antara faktor-faktor konstan yang diinginkan, atau untuk mengatur kondisi awal untuk perhitungan (Wahyu, 2011).

2.4 Mikrokontroler ATMEGA 8535

Beberapa tahun terakhir, mikrokontroler sangat banyak digunakan terutama dalam pengontrolan robot. Seiring perkembangan elektronika, mikrokontroler dibuat semakin kompak dengan bahasa pemrograman yang juga ikut berubah. Salah satunya adalah mikrokontroler AVR (*Alf and Vegard's Risc processor*) ATmega8535 yang menggunakan teknologi RISC (*Reduce Instruction Set Computing*) dimana program berjalan lebih cepat karena hanya membutuhkan satu siklus clock untuk mengeksekusi satu instruksi program. Secara umum, AVR dapat dikelompokkan menjadi 4 kelas, yaitu kelas ATtiny, keluarga AT90Sxx,

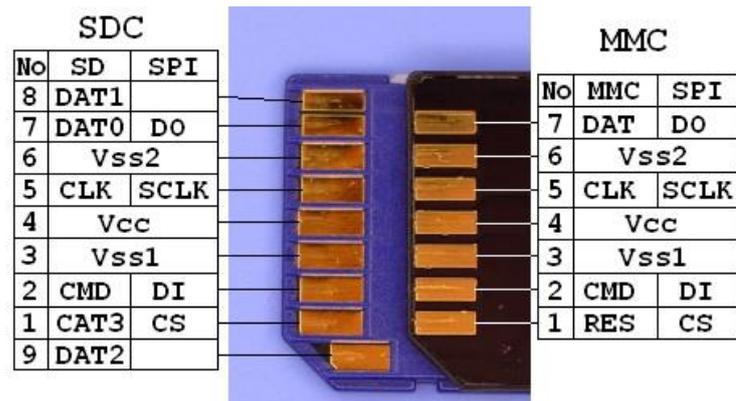
keluarga ATmega, dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, peripheral, dan fungsinya. Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan, mereka bisa dikatakan hampir sama. Mikrokontroler AVR ATmega8535 memiliki fitur yang cukup lengkap. Mikrokontroler AVR ATmega8535 telah dilengkapi dengan *ADC internal*, *EEPROM internal*, *Timer/Counter*, *PWM*, *analog comparator*, dan lain lain (Ristanto, 2012).

Sehingga dengan fasilitas yang lengkap ini memungkinkan kita belajar mikrokontroler keluarga AVR dengan lebih mudah dan efisien, serta dapat mengembangkan kreativitas penggunaan mikrokontroler ATmega8535. Bentuk fisik mikrokontroler ATmega8535 seperti yang ditunjukkan oleh gambar 23. (Joaldera, 2008).



Gambar 23. Mikrokontroler ATmega8535

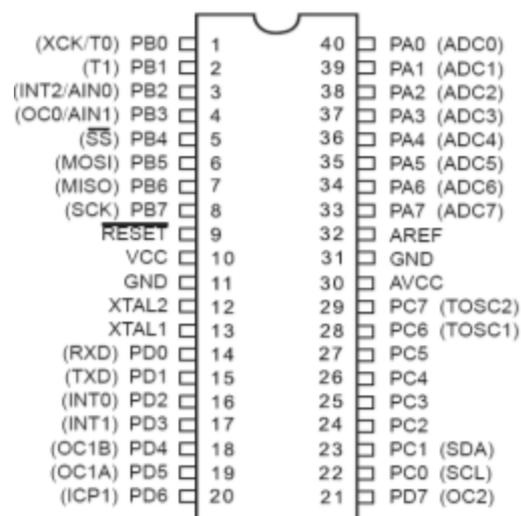
Mikrokontroler selain memiliki berbagai macam manfaat, juga memiliki kekurangan dalam hal kurangnya kapasitas memori data. Salah satu media yang dapat digunakan sebagai memori tambahan adalah Multimedia Card (MMC). Maka dari itu perlu dibangun suatu sistem antarmuka yang dapat menghubungkan mikrokontroler dengan multimedia card sehingga dapat digunakan sebagai suatu media penyimpanan data, Adapun konfigurasi Pin *SD Card* sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 24 (Sunardi, 2009).



Gambar 24. Konfigurasi Pin *SD Card* (Sunardi, 2009)

2.4.1 Konfigurasi Pin Mikrokontroler ATmega8535

Mikrokontroler AVR memiliki arsitektur RISC 8 Bit, sehingga semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit (16-bits word) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam satu siklus instruksi clock. Dan ini sangat membedakan sekali dengan instruksi MCS-51 (Berasitektur CISC) yang membutuhkan siklus 12 clock. Konfigurasi pin mikrokontroler ATmega 8535 sebagaimana yang digambarkan oleh gambar 25.



Gambar 25. Konfigurasi Pin mikrokontroler ATmega 8535

Keterangan :

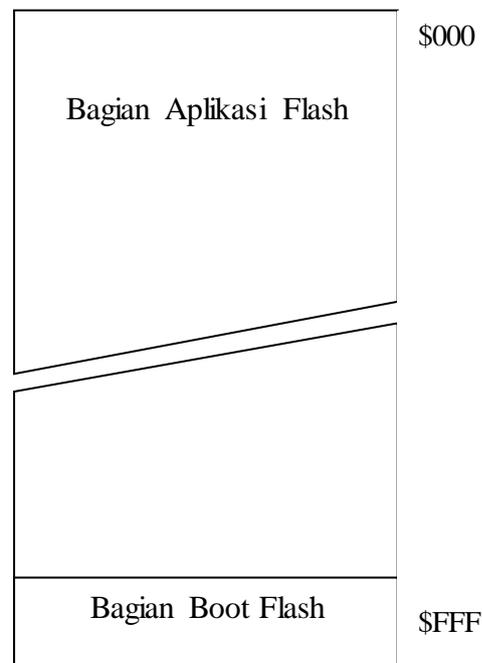
1. Port A berfungsi sebagai *input* analog pada A/D Konverter. Port A juga berfungsi sebagai suatu Port I/O 8-bit dua arah, jika A/D Konverter tidak digunakan. Pin - pin Port dapat menyediakan resistor *internal pull-up* (yang dipilih untuk masing-masing bit). Port A *output buffer* mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* tinggi dan kemampuan sumber. Ketika pin PA0 ke PA7 digunakan sebagai *input* dan secara *eksternal* ditarik rendah, pin - pin akan memungkinkan arus sumber jika resistor *internal pull-up* diaktifkan. Pin Port A adalah *tri-stated* manakala suatu kondisi reset menjadi aktif, sekalipun waktu habis.
2. Port B (PB7..PB0), Port B adalah suatu Port I/O 8-bit dua arah dengan resistor *internal pull-up* (yang dipilih untuk beberapa bit). Port B *output buffer* mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* tinggi dan kemampuan sumber. Sebagai *input*, pin port B yang secara *eksternal* ditarik rendah akan arus sumber jika resistor *pullup* diaktifkan. Pin Port B adalah *tri-stated* manakala suatu kondisi reset menjadi aktif, sekalipun waktu habis.
3. Port C (PC7..PC0), Port C adalah suatu Port I/O 8-bit dua arah dengan resistor *internal pull-up* (yang dipilih untuk beberapa bit). Port C *output buffer* mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* tinggi dan kemampuan sumber. Sebagai *input*, pin port C yang secara *eksternal* ditarik rendah akan arus sumber jika resistor *pullup* diaktifkan. Pin Port C adalah *tri-stated* manakala suatu kondisi reset menjadi aktif, sekalipun waktu habis.

4. Port D (PD7..PD0), Port D adalah suatu Port I/O 8-bit dua arah dengan resistor internal pull-up (yang dipilih untuk beberapa bit). Port D *output buffer* mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* tinggi dan kemampuan sumber. Sebagai input, pin port D yang secara *eksternal* ditarik rendah akan arus sumber jika resistor *pullup* diaktifkan. Pin Port D adalah *tri-stated* manakala suatu kondisi reset menjadi aktif, sekalipun waktu habis.
5. RESET (*Reset input*)
6. XTAL1 (*Input Oscillator*)
7. XTAL2 (*Output Oscillator*) AVCC adalah pin penyedia tegangan untuk port A dan A/D Konverter
8. AREF adalah pin referensi analog untuk A/D converter

2.4.2 Memori Data

Memori data terbagi menjadi 3 bagian, yaitu 32 register umum, 64 buah register I/O, dan 512 byte SRAM Internal. Register keperluan umum menempati space data pada alamat bawah, yaitu \$00 sampai \$1F. Sementara itu, register khusus untuk menangani I/O dan kontrol terhadap mikrokontroler menempati 64 alamat berikutnya, yaitu mulai dari \$20 hingga \$5F. Register tersebut merupakan register yang khusus digunakan untuk mengatur fungsi terhadap berbagai peripheral mikrokontroler, seperti kontrol register, timer/counter, fungsi – fungsi I/O, dan sebagainya. Register khusus alamat memori secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 2.2. Alamat memori berikutnya digunakan untuk SRAM 512 byte, yaitu pada lokasi \$60 sampai dengan \$25F.

ATmega8535 berisi 8K bytes On-Chip di dalam sistem Memori flash Reprogrammable untuk penyimpanan program. Karena semua AVR instruksi adalah 16 atau 32 bits lebar, Flash adalah berbentuk 4K x16. Untuk keamanan perangkat lunak, Flash Ruang program memori adalah dibagi menjadi dua bagian, bagian boot program dan bagian aplikasi program dengan alamat mulai dari \$000 sampai \$FFF. Flash Memori mempunyai suatu daya tahan sedikitnya 10,000 write/erase Cycles. ATmega8535 Program Counter (PC) adalah 12 bit lebar, alamat ini 4K lokasi program memori. Peta memori dapat ditunjukkan oleh gambar 26 (Lazua, 2012).



Gambar 26. Memori Program AT Mega 8535

2.5 Liquid Crystal Display (LCD)

LCD (*Liquid crystal display*) adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf ataupun grafik. LCD

terdiri dari dua bagian, yang pertama merupakan panel LCD sebagai media penampil informasi dalam bentuk huruf/angka dua baris, masing-masing baris bisa menampung 16 huruf/angka. LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah modul penampil yang banyak digunakan karena tampilannya menarik. LCD yang umum, ada yang panjangnya hingga 40 karakter (2x40 dan 4x40), dimana kita menggunakan DDRAM untuk mengatur tempat penyimpanan tersebut. Gambar 27 merupakan contoh gambar LCD 4x16 karakter (Rizal,2007).



Gambar 27. LCD Karakter 4x16

Bagian kedua merupakan sebuah system yang dibentuk dengan mikrokontroler yang ditempel dibalik pada panel LCD, berfungsi mengatur tampilan LCD. Dengan demikian pemakaian LCD M1632 menjadi sederhana, sistem lain cukup mengirimkan kode-kode ASCII dari informasi yang ditampilkan. Spesifikasi LCD M1632:

- a. Tampilan 16 karakter 4 baris
- b. ROM pembangkit karakter 192 jenis.
- c. RAM pembangkit karakter 8 jenis (diprogram pemakai).
- d. RAM data tampilan 80 x 8 bit (8 karakter).
- e. Duty ratio 1/16.

- f. RAM data tampilan dan RAM pembangkit karakter dapat dibaca dari unit mikroprosesor.
- g. Beberapa fungsi perintah antara lain adalah penghapusan tampilan (display clear), posisi kursor awal (crusor home), tampilan karakter kedip (display character blink), penggeseran kursor (crusor shift) dan penggeseran tampilan (display shift).
- h. Rangkaian pembangkit detak.
- i. Rangkaian otomatis reset saat daya dinyalakan.
- j. Catu daya tunggal +5 volt (Karimah, 2015).