

# PERENCANAAN JARINGAN SENSOR NIRKABEL DENGAN PEMAKAIAN DAYA TEPAT GUNA

Hendrianto Husada

Hendrianto\_h@yahoo.com

Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknik PLN

## ABSTRAK

*Jaringan Sensor Nirkabel adalah merupakan perpaduan antara Sistem Pengawasan, Pengontrolan dan Penerimaan Data (SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition System)) dengan Sistem jaringan nirkabel ad hoc. Jaringan Sensor Nirkabel ini telah berkembang sangat pesat sekali beberapa tahun belakangan ini, karena aplikasi jaringan sensor nirkabel digunakan dalam berbagai bidang. Oleh Karena itu perlu perencanaan jaringan yang sesuai agar tidak terjadi penggunaan energi atau daya yang berlebihan. Dalam tesis ini penulis meninjau beberapa aspek pada sistem jaringan sensor nirkabel agar penggunaan energi atau daya tepat guna bisa tercapai seperti peletakan lokasi node, sinkronisasi waktu, modulasi, daya pancar, ukuran paket, teknik pengkodean kesalahan, teknik akses media, topologi jaringan, routing dan kompresi data.*

**Kata kunci:** *scada, ad hoc*

## ABSTRACT

*Wireless Sensor Network is a combination between SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition System) system with ad hoc wireless network. This wireless sensor network has already developed very fastly few years lately, because application of wireless sensor network are used in many field. It is necessary to plan for building wireless sensor network precisely so that using energy is not wasted. In this tesis a writer has already survey some aspect on wireless sensor network so that the goal for efficiency energy can be achieved like localization node, time synchronization, modulation, transmit power, size of packet, access medium techniques, network topology and so on. The combination of all the above techniques to plan wireless sensor network that work using a battery give result a wireless sensor network with each node has a capability long life till some years without having replacement for the battery*

**Keywords:** *scada, ad hoc*

## 1. PENDAHULUAN

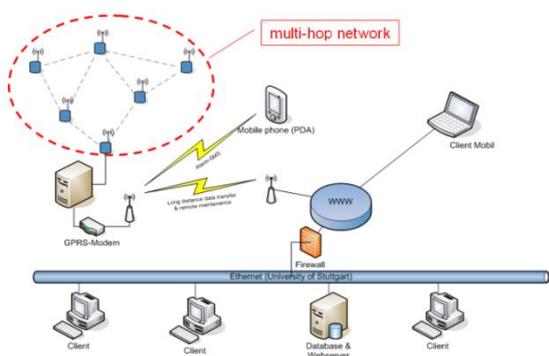
Dalam beberapa tahun belakangan ini karena perkembangan miniaturisasi sirkit elektronik dan integrasi sensor yang pesat memungkinkan suatu pabrik elektronik melakukan produksi suatu peralatan sensor pada suatu jaringan nirkabel dengan biaya yang sangat murah. Dimana peralatan tersebut memadukan peralatan-peralatan dengan daya rendah, sensor yang murah dan kemasan yang sangat kecil yang dipasang pada setiap node. Jaringannya dikenal sebagai jaringan sensor nirkabel. Penggunaan jaringan sensor nirkabel ini pada awalnya digunakan pada bidang militer yaitu untuk pelacakan sasaran tetapi sekarang banyak bidang lainnya yang menggunakan aplikasi ini seperti : pemantauan sistem lingkungan suatu habitat, pemantauan struktur kesehatan, proses kontrol suatu industri, pemantauan dan pengaturan suhu, tekanan, kelembaban relative, kecepatan mengalir suatu cairan, gerakan kendaraan, level gangguan dan sebagainya. Suatu Badan Penelitian Nasional Amerika Serikat memberikan laporan yang berjudul *Embedded Everywhere* mengenai jaringan sensor nirkabel, ini menunjukkan bahwa penggunaan jaringan tersebut sudah tersebar di masyarakat. Jaringan sensor nirkabel memberikan jembatan antara teknologi informasi pada dunia maya dengan dunia nyata secara fisik. Mereka mewakili suatu

pergeseran paradigma mengenai hubungan antar manusia yang konvensional atau tradisional menuju hubungan antar peralatan yang serba otomatis. Jaringan sensor nirkabel telah melahirkan suatu terobosan baru dalam Gagasan mengenai jaringan sensor yang tersebar dan penggunaannya dalam aplikasi militer serta industri lahir sekitar tahun 1970 an dengan menggunakan kabel sebagai media komunikasinya dan skalanya kecil, tetapi ketika tahun 1990 dimana perkembangan teknologi nirkabel dan komponen *VLSI (VeryLarge cale Integration)* dengan daya rendah mulai pesat barulah disain sistem jaringan sensor nirkabel menjadi lebih layak dan nyata. Mungkin penelitian yang pertama mengenai jaringan sensor nirkabel adalah proyek *Low Power Wireless Integrated Microsensor (LWIM)* yang dilakukan oleh *UCLA* dan didanai oleh *DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency)* adalah suatu agen rahasia departemen pertahanan Amerika Serikat yang bertanggung jawab atas perkembangan teknologi baru untuk penggunaan dalam militer. Proyek *LWIM* memfokuskan pada perkembangan peralatan elektronik daya rendah yang berfungsi menghasilkan jaringan sensor nirkabel yang besar dan lengkap. Proyek selanjutnya dilakukan oleh *Wireless Intergrated Networked Sensor (WINS)* beberapa tahun kemudian dimana para peneliti di *UCLA* bekerja sama dengan *Rockwell Service Centre*

mengembangkan jaringan sensor nirkabel yang pertama kali. Proyek yang lain pada bidang ini mulai sekitar tahun 1999 - 2000 terdapat di bidang akademis pada beberapa perguruan tinggi seperti MIT, Berkeley dan USC. Para peneliti di Berkeley mengembangkan jaringan sensor nirkabel yang terintegrasi dalam suatu sirkuit elektronik yang disebut Motes. Motes telah tersedia secara umum dan komersial bersama dengan TinyOS yaitu suatu perangkat lunak kemajuan bidang ilmiah. sistem operasi yang berintegrasi dengan motes. Keberadaan peralatan ini sebagai suatu alat yang mudah di program, berfungsi penuh, relatif tidak mahal untuk eksperimen dan realisasi yang nyata telah menjadi peranan yang penting dalam proses revolusi jaringan sensor nirkabel.

## 2. KAJIAN LITERATUR : JARINGAN SENSOR NIRKABEL

Jaringan Sensor Nirkabel adalah suatu jaringan nirkabel *ad hoc* yang terdiri atas kumpulan node-node dan tersusun sendiri menjadi suatu jaringan tanpa infrastruktur serta bekerja sama membentuk suatu jaringan nirkabel *multi hop* Gambar 2.1. Setiap node terdiri atas satu atau lebih tipe sensor, prosesor yang terintegrasi, memori yang kecil, dan *transceiver* dengan daya rendah, biasanya node-node mempunyai sumber listrik berupa baterai.



Gambar 2.1 Sistem Jaringan Sensor Nirkabel

Keunggulan jaringan sensor nirkabel adalah kombinasi antara sensor, komputasi dan komunikasi menjadi satu peralatan yang terintegrasi, kemampuannya untuk menyebarkan node-node yang sangat kecil dalam jumlah besar dan tersusun serta terkonfigurasi dengan sendirinya. Jaringan sensor nirkabel mempunyai persamaan dan perbedaan dengan jaringan nirkabel *ad-hoc*. Persamaannya yang utama adalah sama-sama menggunakan metoda komunikasi *multi hop*, sedangkan perbedaan antara dua jaringan tersebut adalah sebagai berikut:

- Lebih banyak node yang digunakan pada jaringan sensor yaitu hingga ratusan atau ribuan node dibandingkan dengan jaringan *ad-hoc*.
- Node sensor lebih dibatasi pada proses perhitungan, energi dan sumber-sumber tempat penyimpanan dibandingkan dengan *ad-hoc*.

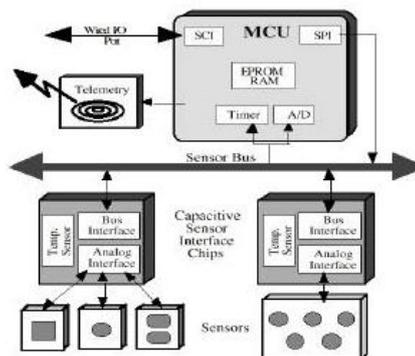
- Node-node sensor dapat digunakan dalam lingkungan yang tanpa campur tangan manusia dan dapat tetap begitu untuk waktu yang panjang setelah aktif.
- Node-node sensor yang berdekatan sering mendeteksi kejadian yang sama dari lingkungannya dan mengirimkan data yang sama ke base station dan menghasilkan informasi cadangan.

### Komponen-komponen suatu node

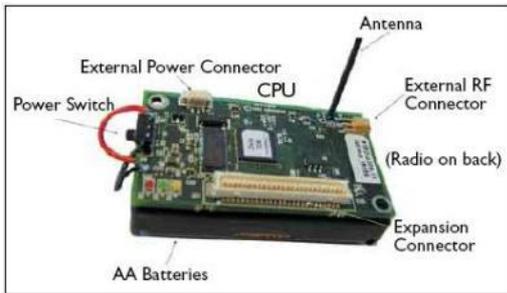
Suatu node sensor biasanya terbagi atas 5 sub sistem yaitu:

1. **Sub sistem Computing** : yang terdiri atas suatu *microprocessor* (*microcontroller* unit, MCU) yang bertanggung jawab dalam pengaturan sensor-sensor dan eksekusi protokol-protokol komunikasi. MCU biasanya bekerja berdasarkan berbagai mode operasi untuk manajemen daya.
2. **Sub sistem Communication**: yang terdiri atas peralatan radio dengan frekuensi gelombang pendek yang digunakan untuk berkomunikasi dengan node-node yang ada disekitarnya dan dunia luar. Peralatan radio tersebut beroperasi pada mode transmit, receive, idle dan sleep.
3. **Sub sistem Sensing** : yang terdiri atas suatu grup sensor-sensor dan aktuator yang menghubungkan node dengan dunia luar.
4. **Sub sistem power supply** : yang terdiri atas suatu baterai yang memberikan suplai daya kepada node.
5. **Sub Sistem Perangkat lunak sistem operasi**: Sistem Operasi yang bekerja pada node-node sensor disebut TinyOS dan awalnya dikembangkan pada Universitas California, Berkeley. TinyOS didisain untuk bekerja pada platform perhitungan daya dan kapasitas memori yang terbatas. Bahasa pemrograman TinyOS adalah C dan menggunakan compiler NesC. Walaupun ia bisa bekerja pada platform yang lain tetapi platform yang didukung adalah Linux Redhat 9.0, windows 2000 dan windows XP.

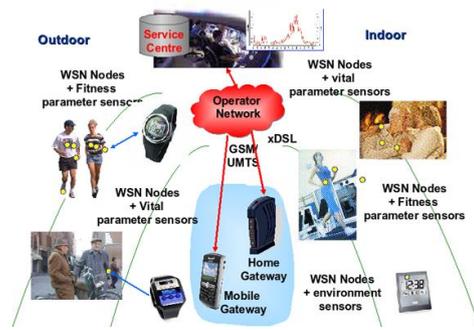
Gambar 2.2 adalah blok diagram dari suatu node sensor dan Gambar 2.3 menunjukkan node sensornya



Gambar 2.2 Blok diagram suatu node



Gambar 2.3 Contoh suatu node sensor



Gambar 2.4. Contoh aplikasi sensor pada suatu jaringan sensor nirkabel

### Prosesor dengan daya rendah

Prosesor mempunyai tugas untuk melakukan pekerjaan-pekerjaan perhitungan pada. Peralatan jaringan sensor nirkabel termasuk pemrosesan informasi dari sensor yang di local juga Informasi-informasi yang berhubungan sensor lainnya. Karena kemampuan prosesor yang digunakan sangat terbatas maka peralatannya mempunyai suatu sistem operasi khusus yang sudah terintegrasi ke dalamnya yaitu *TinyOS*.

### Memori

Memori yang terdapat pada peralatan jaringan sensor nirkabel terdiri atas : *Random Access Memory (RAM)* dan *Read Only Memory (ROM)*, termasuk memori program dan memori data. Kapasitas memori yang digunakan dibatasi oleh pertimbangan ekonomi dan waktu. Pada umumnya node-node sensor hanya membutuhkan jumlah yang sedikit mengenai media penyimpanan dan memori program.

### Transceiver radio

Jaringan sensor nirkabel menggunakan *transceiver radio* berkecepatan rendah (10-100 kbps), jarak pendek (<100 m). Biaya rendah, penggunaan spektrum frekuensi yang tepat guna, bisa diubah-ubah frekuensinya, dan mempunyai kekebalan terhadap gangguan, *fading* dan interferensi. Komunikasi radiomerupakan bagian operasi yang sering digunakan atau merupakan sumber konsumsi daya yang terbesar pada peralatan jaringan sensor nirkabel, oleh karena itu harus mempunyai modus *energy efficient sleep* dan *mode wake up*.

### Sensor

Sensor yang digunakan pada jaringan sensor nirkabel merupakan tipe yang mempunyai kecepatan pengiriman data yang rendah karena keterbatasan daya dan lebar pita frekuensi. Sensor-sensor yang digunakan sangat bergantung pada aplikasi seperti : sensor suhu, sensor cahaya, sensor kelembaban, sensor tekanan dan sebagainya. Pada Gambar 2.4 dapat dilihat berbagai macam aplikasi sensor pada suatu jaringan sensor nirkabel.

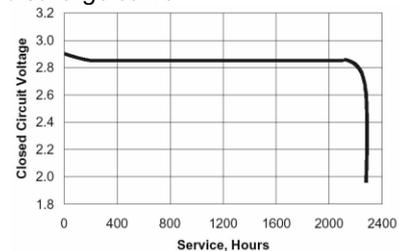
### Sistem Penempatan secara geologi (Geopositioning system)

Pada banyak aplikasi-aplikasi jaringan sensor nirkabel semua lokasi sensor harus di beri tanda. Cara yang paling sederhana adalah dengan pemilihan awal mengenai lokasi sensor pada saat realisasi jaringan, dan ini hanya dapat dicapai dengan menggunakan melalui GPS (*Global Positioning System*)

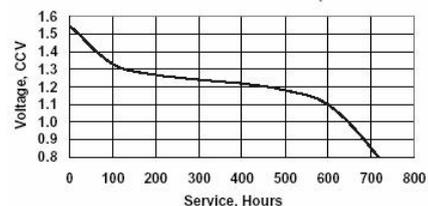
### Sumber daya listrik

Seperti konsumsi daya pada komponen sirkuit elektronik yang dinyatakan dalam *miliampere*, baterai biasanya dinyatakan *milliamp-hours* (mAh). Dalam teori suatu 1000 mAh baterai dapat mendukung prosesor menggunakan arus 10 mA untuk 100 Jam (*hour*). Pada umumnya tidak selalu teori tersebut benar, karena zat kimia pada baterai, level tegangan dan level arus berubah bergantung pada bagaimana energi diambil dari baterai. Pada Gambar 2.5 dapat dilihat kurva karakteristik suatu baterai yang digunakan pada suatu node sensor. Agar realisasi jaringan sensor nirkabel itu fleksibel maka peralatannya menggunakan sumber daya listrik berupa baterai (seperti baterai LiMH AA).

#### Lithium discharge curve



#### Alkaline discharge curve



Gambar 2.5 Kurva karakteristik baterai

**Perangkat lunak sistem operasi untuk jaringan sensor nirkabel**

Suatu langkah yang kritis untuk mencapai visi dibalik jaringan sensor nirkabel adalah disain perangkat lunak yang merupakan jembatan antara kemampuan perangkat keras dengan sistem keseluruhan. Ada persyaratan-persyaratan agar suatu perangkat lunak jaringan sensor nirkabel bisa digunakan yaitu :

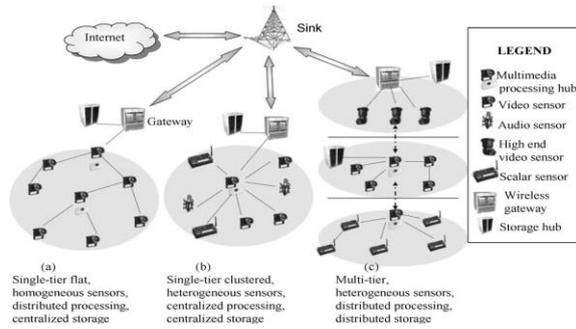
Perangkat lunak tersebut harus efisien dalam penggunaan memori, prosesor dan daya sehingga memenuhi persyaratan yang diminta. Perangkat lunak tersebut harus canggih dalam arti aplikasinya *multiple* dimana pada saat bersamaan bisa menggunakan sumber-sumber seperti komunikasi, komputasi dan memori. Perangkat lunak yang memenuhi persyaratan-persyaratan tersebut adalah **TinyOS (Tiny Microthreading Operating System)**. *TinyOS* adalah Suatu perangkat lunak sistem operasi *open source* yang didisain sebagai perangkat lunak yang terintegrasi pada jaringan sensor nirkabel. *TinyOS* memberikan arsitektur berbasis komponen yang memungkinkan untuk perubahan yang cepat dalam inovasi dan implementasi sementara pengurangan ukuran kode sesuai dibutuhkan merupakan batasan memori pada jaringan sensor nirkabel tersebut. *TinyOS* mempunyai mekanisme komunikasi primitif dengan efisiensi yang tinggi dan *fine grained concurrency* dalam pengaturan protokol dan aplikasinya. Kunci dari konsep *TinyOS* adalah penggunaan pemrograman berbasis kejadian (*event based programming*) yang bekerja sama dengan model komponen efisiensi tinggi. *TinyOS* memungkinkan adanya sistem optimasi yang lebar dengan memberikan gandengan antara perangkat keras dan perangkat lunak sebaik seperti mekanisme untuk modul khusus aplikasi gedung yang fleksibel Gambar 2.6



Gambar 2.6 TinyOS merupakan gandengan perangkat lunak dan perangkat keras

**Arsitektur Jaringan**

Suatu node sensor tersebar sepertiterlihat pada Gambar 2.7 dimana tiap sensor yang tersebar mempunyai kemampuan mengumpulkan data dan mengembalikan data kembali ke *sink*. Data di arahkan kembali ke *sink* seperti jaringan dengan arsitektur tanpa infrastruktur yang terlihat pada Gambar 2.7. *Node sink* melakukan komunikasi dengan *manager* node melalui internet atau satelit.



Gambar 2.7 Node sensor yang tersebar dalam jaringan sensor nirkabel

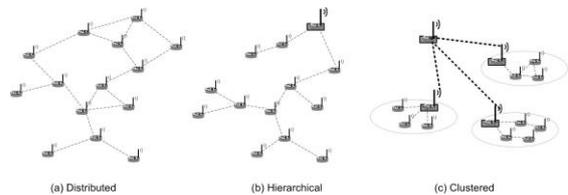
Arsitektur jaringan sensor Gambar 2.8 dapat berbentuk seperti berikut ini :

**1. Hierarchical clustering**

Node-node dari sensor di atur secara hirarki (sistem tingkat) berdasarkan level dayanya dan kedekatannya. *Cluster* Utama dipilih untuk menjalankan berbagai fungsi dengan kemampuan mengaktifkan kembali suatu *cluster* jika cluster utama rusak .

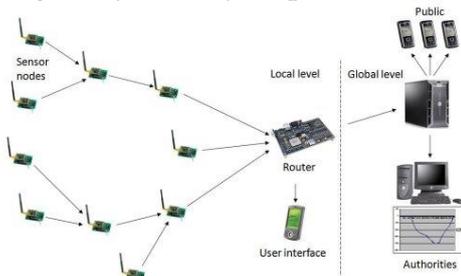
**2. Attribute-based naming**

Node-node sensor diberikan nama sesuai dengan atributnya Contoh suatu sistem yang digunakan untuk mengukur suhu suatu lokasi tertentu. Kemudian Nama [ type = suhu, lokasi = T-U, suhu = 103] menunjukkan semua sensor yang terdapat pada lokasi kuadran timur laut dari arah mata angin dengan pembacaan suhu 103<sup>o</sup>F. Jadi pada aplikasi suatu elemen data dapat diakses secara langsung dengan namanya. Pendekatan mempunyai keuntungan lainnya yang menghapuskan kebutuhan untuk menyimpan pelayanan *mapping\ directory* yang akan menambah *overhead* saja.



Gambar 2.8 Arsitektur Jaringan Sensor Nirkabel hierarki

Contoh suatu arsitektur jaringan sensor nirkabel secara nyata dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Contoh suatu arsitektur jaringan sensor nirkabel

## Aplikasi Jaringan Sensor Nirkabel

Jaringan Sensor Nirkabel telah banyak digunakan dalam berbagai bidang. Bidang-bidang yang menggunakan jaringan sensor nirkabel adalah sebagai berikut:

- **Penelitian Lingkungan**

Jaringan Sensor Nirkabel dapat digunakan untuk memantau perubahan lingkungan. Contohnya adalah seperti: deteksi polusi air pada danau yang terletak dekat pada pabrik yang menggunakan zat-zat kimia. Node-node Sensor secara acak tersebar pada lokasi-lokasi yang tidak menentu dan memberikan informasi mengenai pollutant ke petugas berwenang yang menangani masalah ini secara terpusat untuk menentukan pengukuran yang sesuai untuk membatasi penyebaran polusi. Contoh-contoh yang lain termasuk pendeteksian kebakaran hutan, penelitian polusi udara dan hujan.

- **Pemantauan Militer**

Militer menggunakan jaringan sensor untuk pengawasan dalam peperangan; sensor-sensor dapat memantau lalu lintas kendaraan, melacak posisi dari musuh atau bahkan peralatan untuk perlindungan.

- **Pemantauan Gedung**

Jaringan Sensor Nirkabel juga bisa digunakan untuk pemantauan gedung-gedung yang besar atau pabrik akibat perubahan cuaca atau iklim. *Thermostat and sensor* suhu dari suatu node disebarkan di seluruh areal gedung. Disamping itu juga, sensor dapat digunakan juga untuk pemantauan getaran yang mampu menghancurkan struktur gedung.

- **Kesehatan**

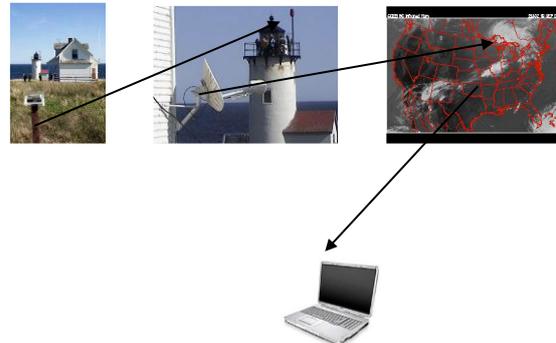
Jaringan Sensor Nirkabel dapat digunakan dalam aplikasi biomedis untuk memperbaiki kualitas perawatannya. Sensor-sensor dipasang didalam badan manusia untuk memantau masalah-masalah pengobatan seperti kanker dan membantu pasien-pasien dalam menjaga kesehatannya.

### Contoh-contoh aplikasi jaringan sensor nirkabel

#### 1. Pemantauan Ekosistem Suatu Makhluk hidup (*Ecological Habitat Monitoring*)

Suatu pemantauan ekosistem dari suatu makhluk hidup dalam menjalani siklus hidupnya. Jaringan sensor nirkabel berperan besar dalam pemantauan ekosistem suatu makhluk hidup Gambar 2.10. Karena sebagai peneliti tidak perlu harus melakukan penelitian ke lapangan tetapi hanya dengan menggunakan sensor-sensor yang di pasang di lokasi kemudian peneliti melakukan pengamatan secara jarak jauh. Salah satu percobaan untuk pemantauan kehidupan makhluk hidup dalam ekosistemnya dengan menggunakan jaringan sensor nirkabel dilaksanakan di Pulau Great Duck, Maine oleh suatu tim peneliti dari Laboratorium Penelitian di Berkeley, Universitas California Berkeley dan Atlantic College di Bar Harbor melakukan pemasangan node-node sensor nirkabel didalam dan disekeliling lubang

perlindungan burung laut yaitu suatu burung yang membentuk koloni yang besar pada pulau itu selama musim pembiakan. Pengiriman data pada jaringan sensor dapat dilihat di internet melalui media komunikasi satelit



Gambar 2.10 Pemantauan kehidupan burung laut

#### 2. Pemantauan Lingkungan

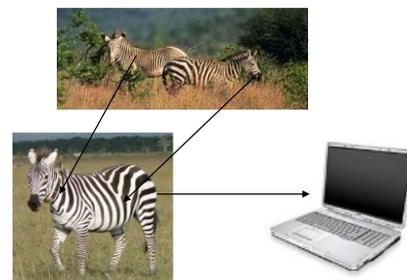
Pada Gambar 2.11 adalah contoh aplikasi pemantauan suatu lingkungan perbukitan dengan jaringan sensor nirkabel dimana node-node sensor disebarkan sekitar perbukitan.



Gambar 2.11 Pemantauan Lingkungan

#### 3. Pemantauan Kehidupan Zebra

Pada Gambar 2.12 dapat dilihat system pemantauan kehidupan zebra. Dimana node-node sensor banyak dipasang ditubuh zebra. Perkembangan zebra dapat dipantau melalui suatu laptop secara jarak jauh.



Gambar 2.12. Pemantauan Kehidupan Zebra

#### 4. Pemantauan pertumbuhan suatu kebun anggur

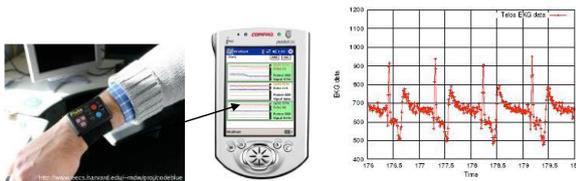
Pada suatu perkebunan anggur, dapat dipantau pertumbuhan anggur dengan menggunakan node-node sensor secara jarak jauh Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Pemantauan Kebun Anggur

### 5. Pemantauan kondisi tubuh manusia

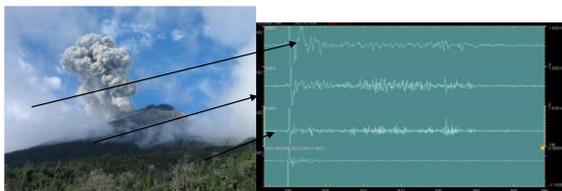
Pada Gambar 2.14 dapat dilihat contoh aplikasi pemantauan kondisi tubuh manusia dengan node-node sensor yang dipasang pada tubuh manusia.



Gambar 2.14 Penelitian Medis Pada Tubuh Manusia

### 6. Pemantauan Gunung berapi di Equador

Pada Gambar 2.15 adalah merupakan contoh aplikasi mengenai suatu sistem yang menggunakan jaringan sensor nirkabel yang digunakan untuk memantau kondisi gunung berapi di Equador.



Gambar 2.15 Pemantauan Gunung Berapi di Equador

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

1. Melakukan analisis pada literatur-literatur yang berkaitan dengan jaringan sensor nirkabel
2. Ruang lingkup : Jaringan Sensor Nirkabel
3. Bahan dan alat Utama: Buku teks, artikel dari majalah, jurnal-jurnal asing dan komputer
4. Tempat: Perpustakaan STTPLN
5. Teknik pengumpulan data: Metoda dokumentasi
6. Teknik Analisis : Menyajikan data setiap variabel yang diteliti.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN: PERENCANAAN JARINGAN SENSOR NIRKABEL

#### Parameter-parameter utama

Perencanaan jaringan sensor nirkabel merupakan perencanaan yang sangat kompleks karena berbagai aspek terlibat didalamnya. Faktor-faktor yang memegang peranan penting dalam

melakukan perencanaan jaringan sensor nirkabel adalah::

*Extended Life time, Responsiveness, Robustness, Fault Tolerance, Scalability, Sinergi, Heterogenitas, Self Configuration, Self Optimization and Adaptation, Systematic Design, Privacy and Security, Production Cost, Environment, Topologi Jaringan Sensor, Perangkat Keras, Perangkat Lunak, Media Transmisi, dan Protokol*

#### Extended Life Time

Node dari suatu jaringan sensor nirkabel sangat dibatasi oleh penggunaan energi sebagai akibat keterbatasan dari baterai yang digunakan pada peralatan yang ada. Suatu baterai alkalin mampu memberikan energi kurang lebih 50 watt jam atau kalau dihitung waktu adalah kurang dari sebulan jika node beroperasi terus menerus dengan mode aktif penuh. Jika dilihat dari segi biaya dan fleksibilitas jaringan, maka penggunaan baterai dengan umur yang lebih lama sangat diharapkan. Pada prakteknya semua aplikasi di segala bidang yang menggunakan jaringan sensor nirkabel beroperasi tanpa penggantian baterai selama beberapa tahun. Karena semua sistem jaringan sensor nirkabel membutuhkan waktu hidup yang lebih panjang oleh karena itu penelitian penting telah dilakukan untuk menaikkan waktu hidup peralatan yang lebih panjang sementara penelitian kebutuhan-kebutuhan fungsional masih tetap ada. Terdapat beberapa perkembangan baik secara perangkat keras maupun perangkat lunak. Pada sisi perangkat keras terdapat perkembangan seperti penambahan penggunaan solar cell, penambahan jumlah baterai, penggunaan sirkit dengan daya rendah, penggunaan mikrokontroler. Perbaikan perangkat keras seperti disain baterai dan metoda penghematan energi hanya merupakan penyelesaian sebagian belum menyeluruh. Sedangkan pada sisi perangkat lunak perbaikan pengaturan daya diarahkan pada hal-hal seperti berikut :

1. Pengurangan komunikasi karena pengiriman dan mendengarkan informasi adalah pemborosan energi yang sangat mahal
2. Menciptakan jadwal *sleep /wake up* untuk node-node

Tugas utama node sensor pada suatu jaringan sensor nirkabel adalah untuk mendeteksi kejadian-kejadian, melakukan pemrosesan data lokal yang cepat, dan kemudian mengirimkan data tersebut. Pemakaian daya pada node sensor dapat dibagi atas 3 bagian yaitu: *sensing*, komunikasi, dan pemrosesan data. Inilah alasan bahwa tujuan utama pada semua disain protokol dalam jaringan sensor nirkabel adalah untuk penggunaan energi yang tepat guna. Tujuan ini dapat di capai dengan melakukan keseimbangan pada sejumlah faktor lain yang berhubungan dengannya.

#### Responsiveness

Suatu solusi yang sederhana untuk memperpanjang umur jaringan adalah dengan mengoperasikan node-node menggunakan mode-mode yang bergantian (*switching*) antara *mode sleep* dan *mode wake up*. Sinkronisasi pergantian antara *mode sleep* dan *wake up* harus direncanakan sesuai

dengan kebutuhan aplikasinya, yang paling membutuhkan perhatian adalah bahwa periode mode yang lama dapat mengurangi daya respons dan keefektifan dari node-node sensor. Oleh karena itu perlu perencanaan yang sesuai mengenai pengaturan *mode sleep* dan *mode wake up*, seperti jika aplikasi yang membutuhkan faktor kecepatan sebagai hal yang lebih penting maka jadwal keberadaan *mode sleep* harus dijaga sedemikian sehingga tidak mengganggu unjuk kerja node-node sensor maka perlu adanya pembatasan persentasi antara periode mode sleep dan mode *wake up* bahkan untuk kondisi sistem jaringan dengan lalu lintas data yang sangat padat.

### **Robustness**

Visi dari suatu jaringan sensor nirkabel adalah untuk memberikan suatu skala jaringan yang besar. Ini menimbulkan anjuran mengenai penggunaan peralatan yang murah. Tetapi harga yang murah sering tidak andal dan cenderung banyak yang rusak. Kecepatan rusaknya peralatan juga akan tinggi, kapan saja peralatan sensor dipasang pada lingkungan yang sukar atau keras (banyak halangan). Untuk mencapai kebutuhan waktu hidup yang lama, maka setiap node harus di buat sangat stabil mungkin agar dalam jumlah yang besar node-node sensor dapat bekerja serasi dan harmoni selama bertahun-tahun. Sistem yang modular adalah merupakan suatu sistem yang sangat canggih yang digunakan untuk mengembangkan suatu sistem jaringan yang stabil sekali dan jarang rusak. Untuk menaikkan kekuatan node terhadap kerusakan suatu jaringan sensor nirkabel juga harus tahan terhadap gangguan dari luar. Ketahanan terhadap gangguan dari luar dapat dinaikkan secara fantastis dengan penggunaan kanal frekuensi banyak (*multi channel frequency*) dan sistem *spread spectrum*. Ini adalah hal yang umum untuk memberikan peralatan jaringan nirkabel yang ada agar mampu beroperasi pada satu atau lebih frekuensi kerja. Kemampuan untuk menghindari gangguan akibat kepadatan pemakaian kanal frekuensi merupakan hal yang sangat penting untuk membuat suatu jaringan yang sempurna. Oleh karena itu penting untuk meyakinkan bahwa unjuk kerja sistem tidak sensitif terhadap kerusakan peralatan secara masing-masing. Bahkan lebih sering dibutuhkan suatu sistem yang mempunyai kemampuan dengan penurunan unjuk kerja sangat sedikit akibat kerusakan komponen.

### **Fault Tolerance**

Suatu kemampuan untuk menjaga fungsi-fungsi jaringan sensor nirkabel tanpa adanya interupsi akibat kerusakan suatu node sensor. Beberapa node-node sensor mungkin akan rusak jika kehilangan daya atau mengalami kerusakan secara fisik atau interferensi lingkungan, tetapi kerusakan node-node sensor tidak seharusnya mempengaruhi sistem keseluruhan dari suatu jaringan sensor nirkabel.

### **Sinergi**

Suatu sistem jaringan sensor nirkabel memandang sistem keseluruhan menjadi satu kesatuan yang mempunyai kemampuan yang lebih baik dibandingkan dengan gabungan kemampuan

dari masing-masing komponen. Protokol yang digunakan harus memberikan kerja sama yang tepat guna meliputi media penyimpanan, perhitungan dan sumber-sumber komunikasi.

### **Scalability**

Suatu jaringan sensor nirkabel mempunyai kemampuan menjadi sistem jaringan dengan skala yang sangat besar. Oleh karena itu untuk mendukung kemampuan tersebut protokolnya harus bisa menyebar termasuk komunikasi secara lokal, dan jaringan sensornya harus menggunakan arsitektur hierarki. Disamping itu mengenai penanganan kerusakan, pemrograman di lokasi, *throughput*, kapasitas juga pengaruh terhadap *scalability* dari unjuk kerja jaringan.

### **Heterogenitas**

Suatu jaringan sensor nirkabel harus mempunyai keberbedaan dalam kemampuan peralatan pada kondisi yang nyata. Contoh adanya sejumlah peralatan yang mempunyai kemampuan perhitungan yang tinggi bersamaan dengan adanya peralatan yang berkemampuan rendah dengan jumlah besar akan membuat sistem mempunyai arsitektur jaringan yang berdasarkan sistem *cluster*. Yang menjadi kunci dalam disainnya adalah menentukan kombinasi yang tepat untuk suatu aplikasi tertentu.

### **Self Configuration**

Karena skalanya yang besar dan sifat alami dari aplikasinya, jaringan sensor nirkabel adalah suatu sistem yang tersebar dengan tanpa adanya operator. Cara pengoperasian yang otomatis dari jaringannya adalah merupakan kunci dalam disain. Sejak awal node-node pada jaringan sensor nirkabel harus mampu melakukan konfigurasi topologi jaringannya sendiri: Pencarian lokasi node, sinkronisasi, dan kalibrasi, koordinasi komunikasi antar node dan penentuan parameter-parameter operasi penting lainnya.

### **Self Optimization and Adaptation**

Secara tradisi semua sistem tekniknakan mampu memilih sendiri untuk bekerja secara tepat guna dalam menghadapi suatu model kondisi operasi yang diharapkan atau baik. Sebelum melaksanakan realisasi suatu jaringan sensor nirkabel perlu dilakukan uji kelayakan mengenai ketidak pastian kondisi operasi, dan diharapkan agar mempunyai kemampuan yang baku mengenai mekanisme yang otomatis untuk pengukuran data yang dikumpulkan sensor dan jaringan dari waktu ke waktu dan digunakan untuk memperbaiki unjuk kerja sistem. Protokol-protokol pada jaringan sensor nirkabel harus mampu beradaptasi terhadap lingkungan yang dinamis secara online.

### **Disain Sistematis**

Seperti diketahui suatu jaringan sensor nirkabel mempunyai aplikasi khusus yang sempurna. Karena optimasi unjuk kerja sangat penting, oleh karena itu batasan sumber pada jaringan sensor nirkabel, metodologi yang sistematis, kemungkinan penggunaan kembali, sistem modular, dan adaptasi runtime sangat diperlukan dalam pertimbangan secara praktek.

### Privacy and Security

Suatu skala yang besar, sifat umum dan sensitivitas dari informasi yang dikumpulkan oleh jaringan sensor nirkabel menimbulkan satu kunci terakhir dalam pertimbangan desain yaitu memastikan kebebasan pribadi dan keamanan pada jaringan sensor nirkabel. Jaringan sensor nirkabel harus mempunyai kemampuan menjaga informasi yang dikumpulkan secara khusus dari rahasia-rahasia jaringan lain. Jika mempertimbangkan aplikasi jaringan sensor nirkabel yang mempunyai orientasi keamanan, keamanan data menjadi hal yang sangat penting. Tidak hanya sistem harus menjaga *privacy*, tapi sistem juga harus mampu melakukan validasi komunikasi data. Satu-satunya cara agar data pada jaringan sensor nirkabel tetap mempunyai *privacy* dan *authentic* adalah dengan melakukan data enkripsi dalam semua transmisi data. Sebagai tambahan untuk keamanan dalam semua transmisi data, semua node-node harus mengamankan data yang dimiliki.

### Biaya Produksi

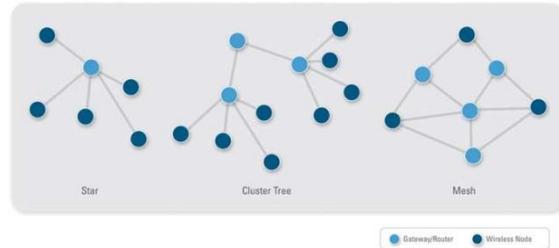
Karena suatu jaringan sensor nirkabel terdiri atas node-node sensor dalam jumlah yang sangat besar, oleh karena itu biaya suatu node sangatlah penting dipertimbangkan untuk biaya jaringan secara keseluruhan. Jika biaya untuk jaringan sensor nirkabel jauh lebih mahal dibandingkan dengan jaringan sensor tradisional, maka jaringan sensor nirkabel tidak layak dipertimbangkan. Oleh karena itu biaya setiap node sensor harus dibuat rendah. Menurut penelitian dalam bidang teknologi biaya untuk suatu sistem radio *Bluetooth* US \$ 10. Juga harga untuk suatu piconode adalah US \$ 1. Oleh karena itu biaya untuk node sensor harus kurang dari US \$ 1 agar jaringan sensor nirkabel itu layak dipakai.

### Environment

Node-node sensor disebarkan dalam jumlah yang besar dengan letak yang berdekatan atau secara langsung didalam sasaran yang akan di teliti. Oleh karena itu biasanya node-node bekerja tanpa adanya manusia pada daerah-daerah yang secara geografis sangat jauh. Node-node sensor mungkin bekerja didalam mesin-mesin yang besar, pada dasar laut, pada daerah yang secara biologis atau kimiawi terkontaminasi, pada daerah musuh ketika terjadi peperangan, dan di dalam rumah atau gedung tinggi dan besar.

### Topologi Jaringan Sensor Nirkabel

Ratusan hingga ribuan node disebarkan diseluruh daerah yang menjadi sasaran. Node-node disebarkan dalam jarak kurang lebih 10 ft diantaranya. Kepadatan nodenya mungkin 20 node / m<sup>3</sup>. Menyebarkan node dengan jumlah besar dengan kepadatan tinggi membutuhkan penanganan hati-hati yang berkaitan dengan perawatan topologi. Pada Gambar 3.1 dapat dilihat topologi jaringan sensor nirkabel.



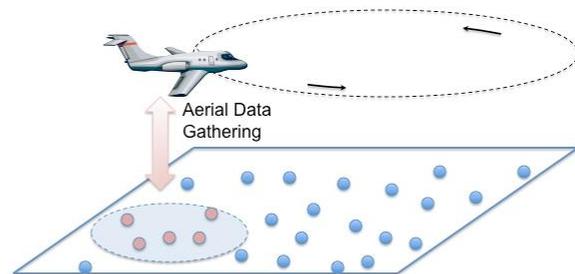
Gambar 3.1 Topologi suatu jaringan sensor nirkabel

Untuk perawatan topologi terdapat perubahan dalam 3 fase:

#### 1. Fase *predeployment* dan *deployment*

Node-node sensor dapat dilemparkan secara massal atau diletakkan satu per satu pada daerah sasaran. Node-node dapat disebarkan dengan dijatuhkan dari pesawat, dilepaskan dari pos-pos, roket dan diletakkan satu per satu oleh manusia atau robot.

Gambar 3.2 menunjukkan node-node yang disebarkan dengan dijatuhkan dari pesawat.



Gambar 3.2 Node-node yang dijatuhkan dari pesawat

#### 2. Fase *Postdeployment*

Setelah penyebaran topologi berubah akibat berubahnya lokasi masing-masing node sensor (akibat adanya *jamming*, *noise*, penghalang yang bergerak), adanya energi, *malfuction*.

#### 3. Fase *redeployment* tambahan node-node.

Tambahan node-node sensor dapat disebarkan kembali setiap saat untuk menggantikan node-node yang sudah tidak berfungsi atau node-node yang melaksanakan pekerjaan yang dinamis.

### Perangkat Keras

Suatu node sensor terdiri atas 4 komponen dasar yaitu: Unit pendeteksi (*Sensing Unit*), Unit Pemrosesan (*Processing Unit*), Unit *Transceiver* (*Transceiver Unit*) dan Unit Daya (*Power Unit*). Terdapat tambahan komponen aplikasi seperti Sistem Pencari Lokasi (*Location Finding System*), Pembangkit Daya (*Power Generator*) dan *Mobilizer*. Bagian pendeteksian (*Sensing Unit*) biasanya terdiri atas dua subunit yaitu : Sensor dan *Analog to Digital Converter* (ADC). Sinyal-sinyal analog yang dihasilkan oleh sensor-sensor berdasarkan hasil pengamatan diubah menjadi sinyal-sinyal digital oleh ADC, dan diberikan ke unit pemrosesan (*processing unit*). Unit pemrosesan yang biasanya berhubungan dengan unit penyimpanan yang kecil mengatur

prosedur yang membuat node sensor bekerja sama dengan node lainnya untuk melaksanakan tugas pendeteksian. Suatu Unit *transceiver* menghubungkan node ke jaringannya. Salah satu komponen yang paling penting dari node sensor adalah unit daya. Unit daya bisa terdiri atas *solar cell*. Sub unit mobilizer berfungsi untuk memindahkan node pada saat melakukan tugas tertentu. Pada Gambar 3.3 dan 3.4 dapat dilihat perangkat keras suatu node sensor



Gambar 3.3 Perangkat Keras node sensor



Gambar 3.4 sirkuit node sensor

### Perangkat Lunak

Suatu langkah yang kritis untuk mencapai visi di belakang jaringan sensor nirkabel adalah disain arsitektur perangkat lunak yang menjembatani gap antara kemampuan perangkat keras dan sistem keseluruhan. Kebutuhan perangkat lunak untuk jaringan sensor nirkabel banyak jumlahnya. Perangkat lunak tersebut harus efisien dalam memori, prosesor, dan daya sehingga sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Perangkat lunak tersebut juga harus cukup cerdas untuk memungkinkan banyak aplikasi secara bersamaan menggunakan sumber-sumber seperti komunikasi, perhitungan dan memori. *TinyOS* adalah suatu perangkat lunak yang di disain untuk jaringan sensor nirkabel.

### Media Transmisi

Pada jaringan sensor nirkabel node-node berkomunikasi melalui media nirkabel. Media transmisi dapat berupa gelombang radio, sinar infra merah, atau media cahaya. Untuk mengaktifkan operasi global dari jaringan ini, media transmisi yang dipilih harus tersedia di seluruh dunia. Banyak perangkat keras untuk node-node sensor didisain berdasarkan disain sirkuit RF. Suatu node sensor nirkabel AMPS ada yang menggunakan *transceiver* 2.4 Ghz yang kompatibel dengan *bluetooth* dengan *synthesizer* frekuensi yang terintegrasi. Peralatan sensor daya rendah ada juga yang menggunakan *transceiver* kanal tunggal yang bekerja pada frekuensi 916 Mhz. Arsitektur dari *Wireless Integrated Network Sensor (WINS)* juga menggunakan link radio untuk komunikasi. Media lain yang digunakan node-node sensor untuk berkomunikasi adalah menggunakan sinar infra merah. Komunikasi dengan menggunakan sinar infra merah tidak memerlukan ijin penggunaan frekuensi dan bebas dari interferensi peralatan listrik. *Transceiver* yang berdasarkan sinar infra merah lebih murah dan lebih mudah di buat. Perkembangan lain yang menarik adalah mote *Smart Dust* dimana terdapat *autonomous sensing, computing* dan sistem komunikasi yang menggunakan media cahaya untuk transmisi. Baik itu sinar infra merah atau cahaya keduanya membutuhkan suatu sistem komunikasi yang *line of sight* antara pengirim dan penerima.

### Protokol

Protokol adalah suatu elemen paling utama yang menentukan bagaimana node-node saling berkomunikasi melalui *link nirkabel* dengan penetapan aturan-aturan baku mengenai keberadaannya secara bersama-sama, representasi data, *signaling, authentication* dan *error detection*. Protokol yang digunakan pada jaringan sensor nirkabel adalah protokol Medium Access Control, dimana protokol inilah yang mengatur penggunaan radio agar penggunaan lebar pita (*bandwidth*) nya efisien. Disamping itu juga *Medium Access Control* mempunyai tambahan tujuan yaitu mengatur aktivitas radio untuk menghemat energi. Jika *Medium Access Control* yang tradisional atau konvensional harus ada keseimbangan *throughput, delay* dan yang berhubungan dengan kelayakan unjuk kerja, maka pada *Medium Access Control* untuk jaringan sensor nirkabel lebih menekankan kepada penghematan energi.

## 5. KESIMPULAN

Dari studi literatur yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa Suatu Jaringan Sensor Nirkabel harus dirancang atau didisain memenuhi sejumlah kebutuhan-kebutuhan berikut, meliputi: *Extended LifeTime, Responsiveness, Robustness, Fault Tolerance, Scalability, Synergy, Heterogenitas, Self Configuration, Self Optimization and Adaptation, Systematic Design, Privacy and Security, Biaya Produksi, Kondisi Lingkungan, Toplogi Jaringan*

Sensor Nirkabel, Perangkat Keras, Perangkat Lunak, Media Transmisi dan yang terakhir adalah Protokol.

#### DAFTAR PUSTAKA

Bhaskar Krishnamachari, 2005 "Networking Wireless Network", Cambridge University Press.  
Rajeev Shorey, A. Ananda. Mun Choon Chan, Wei Tsang Ooi, 2006 "Mobile, Wireless, and Sensor Network (Technology, Applications, dan Future Directions)", IEEE Press and John Wiley & Sons, Inc.  
Anonim 2004, IEEE Magazine "Computer", August.  
Anonim 2008, IEEE Magazine "Computer", October.  
Rappaport s., Theodore, "Wireless Communication (Principles and Practice)", Second Edition  
Hac, Anna, "Wireless Sensor Design", John Wiley & Sons

Jurnal-jurnal, IEEE.

Dewasurendra, Duminda and Mishra Amitabh, 2005, "Design Challenges in Energy Efficient Medium Access Control for Wireless Sensor Network", by CRC Press LLC .  
Hill, Jason lester, 2003. "System Architecture for Wireless Sensor Network", Thesis, spring.  
Stancovic, John A 2006., "Wireless Sensor Network",  
Anonim, 2002 Computer Network Magazine 38.