

FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI DALAM PERENCANAAN JARINGAN SENSOR NIRKABEL DENGAN PEMAKAIAN DAYA TEPAT GUNA

Hendrianto Husada¹

ABSTRACT: *A wireless sensor network is a combination of SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition System) system and an ad hoc wireless network. This wireless sensor network has already developed very fast in the past few years, as it is used in many fields. It is necessary to plan for building wireless sensor network precisely so that used energy is not wasted. In this paper some aspects on wireless sensor network has been surveyed so that the goal for energy efficiency can be achieved by using appropriate localization node, time synchronization, modulation, transmit power, size of packet, access medium techniques, network topology, routing and data compression. The combination of all the above techniques in planning a wireless sensor network using a battery will provide each node a long life for some years without the necessity to replace the battery.*

ABSTRAK: Jaringan Sensor Nirkabel adalah merupakan perpaduan antara Sistem Pengontrolan Pengawasan 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 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 tulisan ini dibahas 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. Kombinasi semua teknik di atas dalam merancang sebuah jaringan sensor nirkabel yang menggunakan baterai membuat setiap node mempunyai masa pakai yang lama sampai beberapa tahun tanpa perlu mengganti baterai.

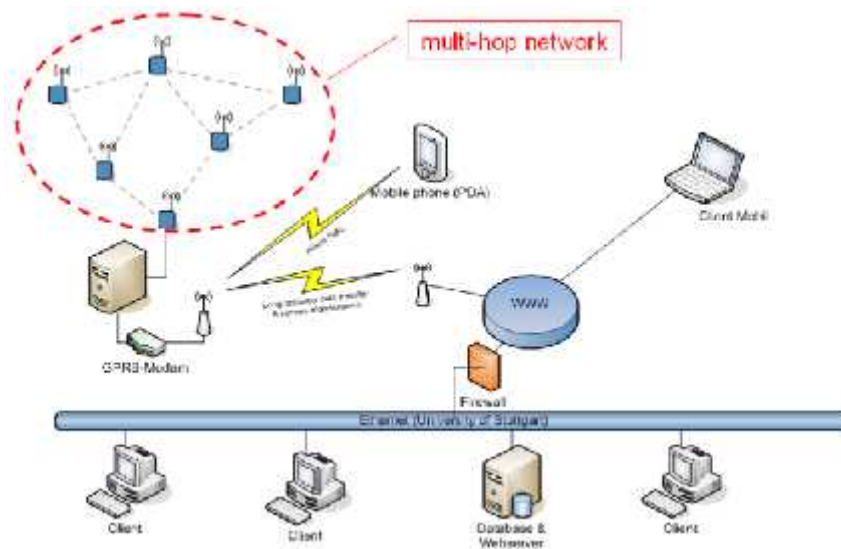
PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun belakangan ini karena perkembangan miniaturisasi sirkuit 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*. Jaringan ini 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 relatif, 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 (Very Large Scale Integration)* dengan daya rendah mulai pesat barulah desain 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 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 Integrated 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 akademik 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.

¹ Jurusan Teknik Elektro Universitas Trisakti

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 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 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:

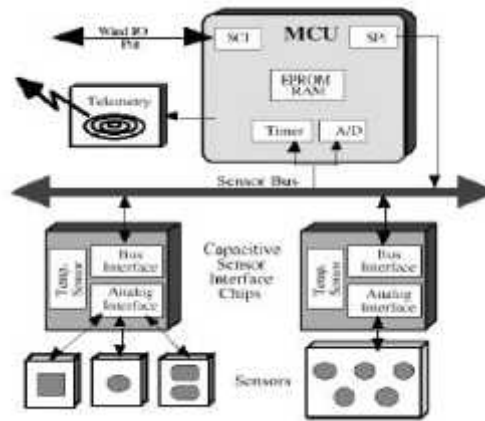
- Lebih banyak *node* yang digunakan pada jaringan sensor yaitu hingga ratusan atau ribuan *node* dibandingkan dengan jaringan *ad-hoc*.
- *Node* sensor lebih dibatasi pada proses perhitungan, energi dan sumber-sumber tempat penyimpanan dibandingkan dengan *ad-hoc*.
- *Node-node* sensor dapat digunakan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

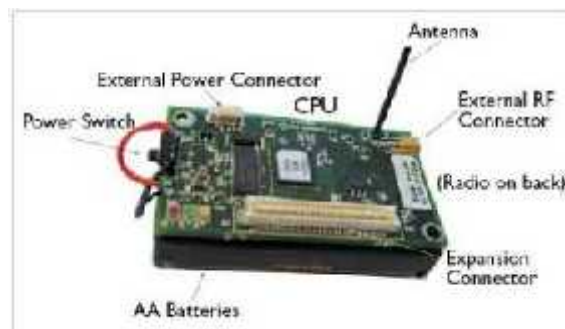
Suatu *node* sensor biasanya terbagi atas 5 sub sistem yaitu:

- 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 *modus* 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 di sekitarnya dan dunia luar. Peralatan radio tersebut beroperasi pada *modus 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* didesain untuk bekerja pada *platform* dengan 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 adalah diagram blok dari suatu *node* sensor dan Gambar 3 menunjukkan *node* sensornya.



Gambar 2. Diagram blok suatu node



Gambar 3. Contoh suatu node sensor

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 dalam nya 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

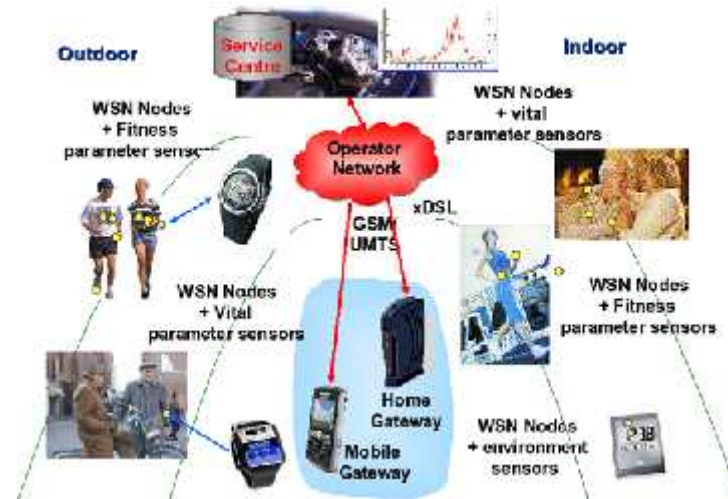
Jaringan sensor nirkabel menggunakan *transceiver* radio berkecepatan rendah (10 – 100 kbps) dan berjarak pendek (< 100 m). Biaya rendah, penggunaan spektrum frekuensi yang tepat guna, bisa diubah-ubah frekuensinya, dan mempunyai kekebalan terhadap gangguan, fading dan interferensi. Komunikasi radio merupakan 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 *modus 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 4 dapat dilihat berbagai macam aplikasi sensor pada suatu jaringan sensor nirkabel.

Sistem Penempatan secara Geologi (*Geopositioning System*)

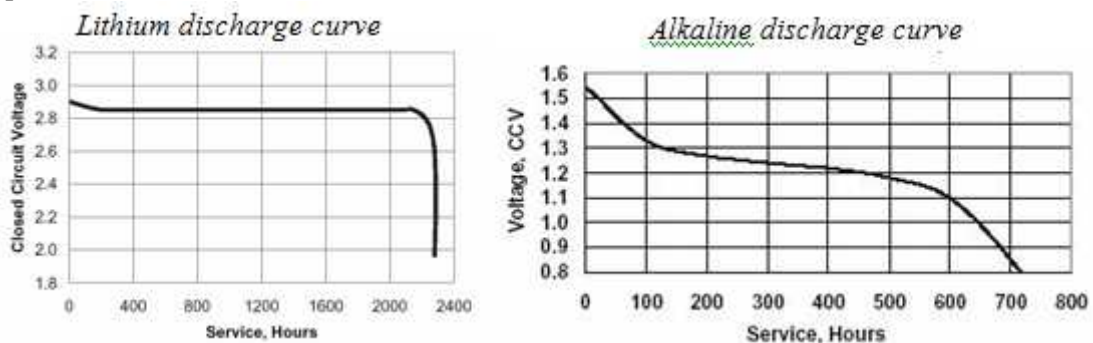
Pada banyak aplikasi-aplikasi jaringan sensor nirkabel semua lokasi sensor harus diberi tanda. Cara yang paling sederhana adalah dengan pemilihan awal mengenai lokasi sensor pada saat realisasi jaringan, dan ini hanya dapat dicapai dengan menggunakan melalui GPS (*Global Positioning System*).



Gambar 4. Contoh aplikasi sensor pada suatu jaringan sensor nirkabel

Sumber Daya Listrik

Seperti konsumsi daya pada komponen sirkit elektronik yang dinyatakan dalam milliampere (mA), 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 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)



Gambar 5. Kurva karakteristik baterai

Perangkat Lunak Sistem Operasi untuk Jaringan Sensor Nirkabel

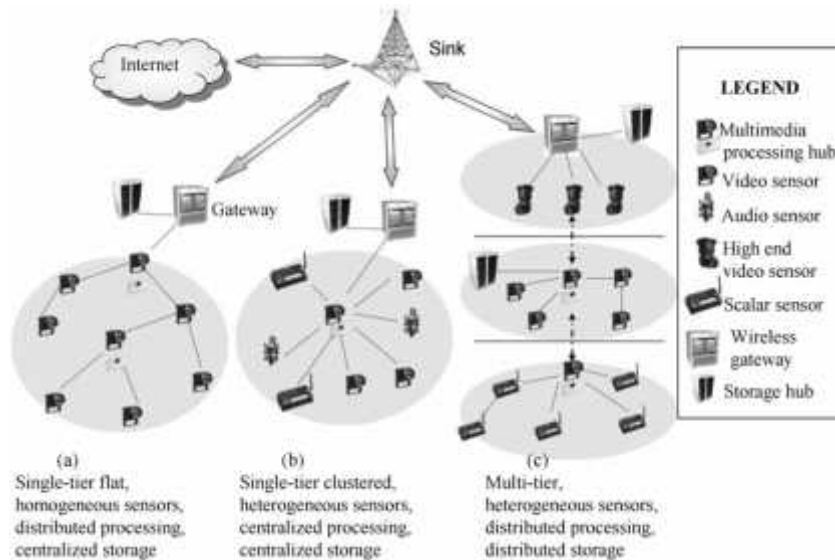
Persyaratan agar suatu perangkat lunak jaringan sensor nirkabel bisa digunakan adalah perangkat lunak tersebut harus efisien dalam penggunaan memori, prosesor dan daya. Perangkat lunak tersebut pada saat bersamaan bisa menggunakan sumber daya komunikasi, komputasi dan memori (*multiple*). Perangkat lunak yang memenuhi persyaratan-persyaratan tersebut adalah **TinyOS (Tiny Microthreading Operating System)**. *TinyOS* yang *open source* didesain sebagai perangkat lunak yang terintegrasi pada jaringan sensor nirkabel. *TinyOS* memberikan arsitektur berbasis komponen yang memungkinkan perubahan yang cepat dalam inovasi dan implementasi sementara pengurangan ukuran kode sesuai dengan 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 *modul* komponen efisiensi tinggi. *TinyOS* memungkinkan adanya sistem optimasi yang lebar dengan memberikan gandengan antara perangkat keras dan perangkat lunak yang fleksibel. Modul khusus untuk aplikasi gedung ditunjukkan pada Gambar 6.

Arsitektur Jaringan

Setiap *node* sensor tersebar seperti terlihat pada Gambar 7 mempunyai kemampuan mengumpulkan data dan mengembalikan data kembali ke *sink*. Data diarahkan kembali ke *sink* seperti jaringan dengan arsitektur tanpa infrastruktur seperti pada Gambar 7. *Node sink* berkomunikasi dengan *manager node* melalui internet atau satelit.



Gambar 6. TinyOS merupakan gandingan perangkat lunak dan perangkat keras



Gambar 7. Node sensor yang tersebar dalam jaringan sensor nirkabel

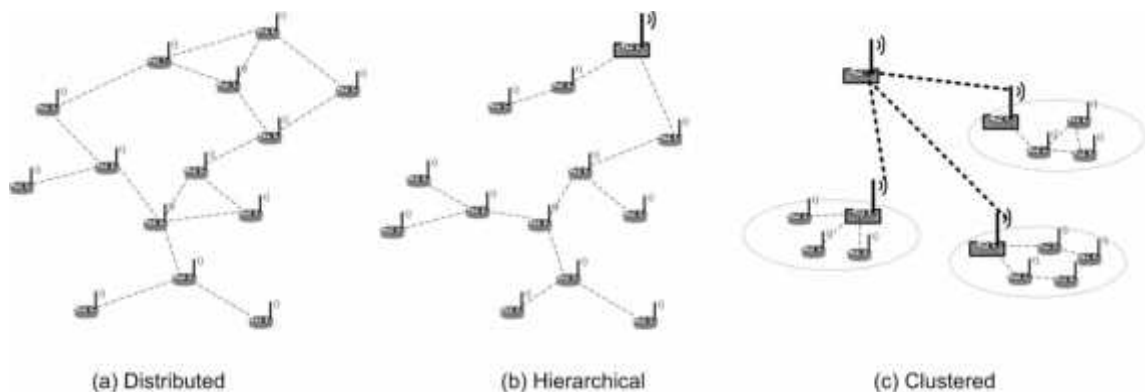
Arsitektur jaringan sensor pada Gambar 8 dapat berbentuk seperti berikut ini:

1. **Hierarchical clustering**

Node-node dari sensor diatur secara hirarkis berdasarkan level daya dan kedekatannya. Cluster utama menjalankan berbagai fungsi dengan kemampuan mengaktifkan kembali suatu cluster jika cluster utama rusak.

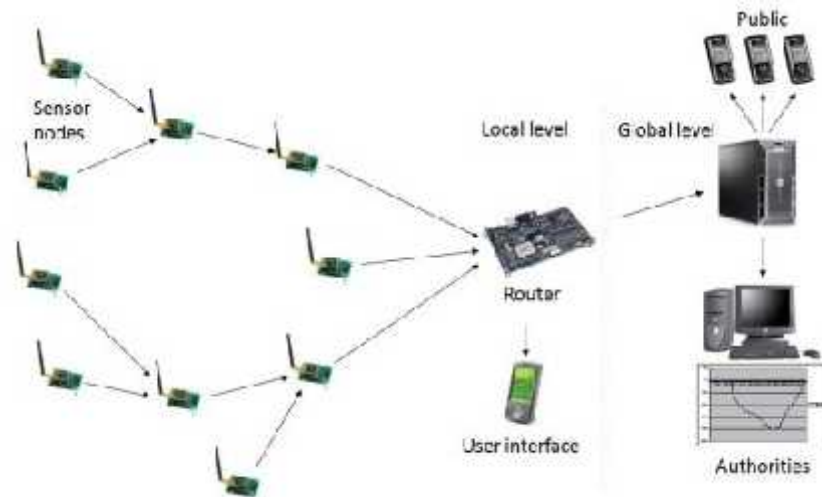
2. **Attribute-based naming**

Node-node sensor diberikan nama sesuai dengan atributnya. Pada contoh suatu sistem untuk mengukur suhu suatu lokasi tertentu 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°F. Jadi pada aplikasi suatu elemen data dapat diakses langsung dengan namanya. Pendekatan ini mempunyai keuntungan lain yaitu menghapus kebutuhan penyimpanan mapping/directory yang akan menambah overhead.



Gambar 8. JenisArsitektur Jaringan Sensor Nirkabel

Contoh suatu arsitektur jaringan sensor nirkabel secara nyata dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Contoh suatu arsitektur jaringan sensor nirkabel

Aplikasi Jaringan Sensor Nirkabel

Jaringan Sensor Nirkabel telah banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti contoh-contoh berikut:

- **Penelitian Lingkungan**
Jaringan Sensor Nirkabel dapat digunakan untuk memantau perubahan lingkungan seperti polusi air pada danau yang terletak dekat pada pabrik yang menggunakan zat-zat kimia. *Node-node* sensor tersebar secara acak pada lokasi-lokasi dan memberikan informasi mengenai *pollutant* ke petugas berwenang yang menangani masalah ini secara terpusat untuk membatasi penyebaran polusi. Contoh-contoh 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 area gedung. Selain itu, sensor dapat digunakan juga untuk memantau getaran yang mampu menghancurkan struktur gedung.
- **Kesehatan.**
Jaringan Sensor Nirkabel dapat digunakan dalam aplikasi biomedika untuk memperbaiki kualitas perawatannya. Sensor-sensor dipasang di dalam 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 Makhluk Hidup (Ecological Habitat Monitoring)

Jaringan sensor nirkabel berperan besar dalam pemantauan ekosistem suatu makhluk hidup dalam menjalani siklus hidupnya seperti ditunjukkan pada Gambar 10. Peneliti tidak harus melakukan penelitian ke lapangan tetapi peneliti melaksanakan pengamatan secara jarak jauh dengan menggunakan sensor-sensor yang dipasang di lokasi. Salah satu pemantauan ini dilaksanakan di Pulau Great Duck, Maine oleh tim peneliti Universitas California Berkeley dan Atlantic College di Bar Harbor yang melakukan pemasangan *node-node* sensor di dalam dan di sekeliling lubang perlindungan burung laut yang membentuk koloni yang besar di pulau itu selama musim pembiakan. Pengiriman data dapat dilihat di Internet melalui media komunikasi satelit.

2. Pemantauan Lingkungan

Pada Gambar 11 ditunjukkan contoh aplikasi pemantauan suatu lingkungan perbukitan dengan jaringan sensor nirkabel dimana *node-node* sensor disebarkan sekitar perbukitan.

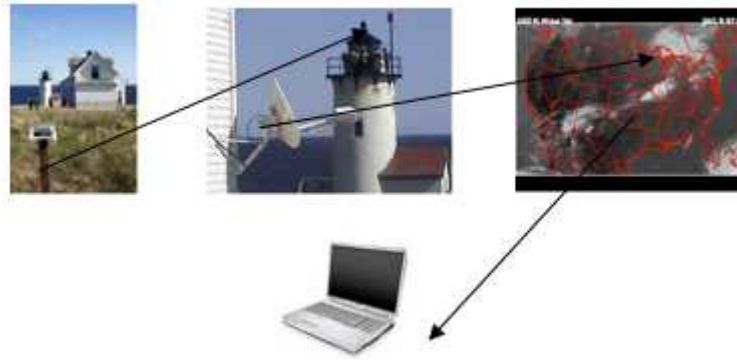
3. Pemantauan Kehidupan Zebra

Pada Gambar 12 dapat dilihat sistem pemantauan kehidupan zebra dengan beberapa *node* sensor dipasang di tubuh zebra. Perkembangan zebra dapat dipantau melalui suatu *laptop* secara jarak jauh.

4. Pemantauan pertumbuhan suatu kebun anggur

Pada suatu perkebunan anggur, dapat dipantau pertumbuhan anggur dengan menggunakan *node-node* sensor secara jarak jauh Gambar 13.

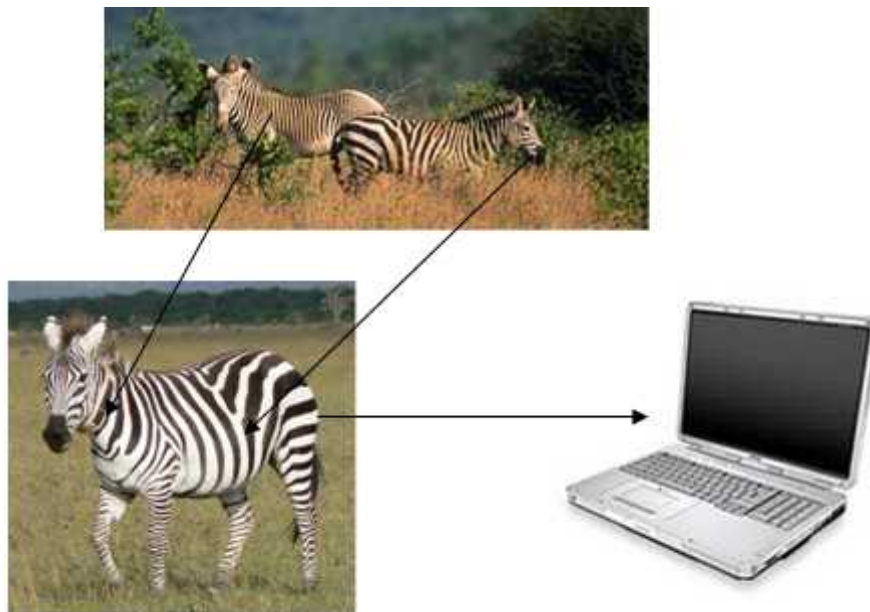
Fakto-faktor Yang Mempengaruhi Dalam Perencanaan Jaringan Sensor Nirkabel Dengan Pemakaian Daya Tepat Guna



Gambar 10 Pemantauan kehidupan burung laut



Gambar 11. Pemantauan Lingkungan



Gambar 12. Pemantauan Kehidupan Zebra



Gambar 13. Pemantauan Kebun Anggur

5. Pemantauan kondisi tubuh manusia

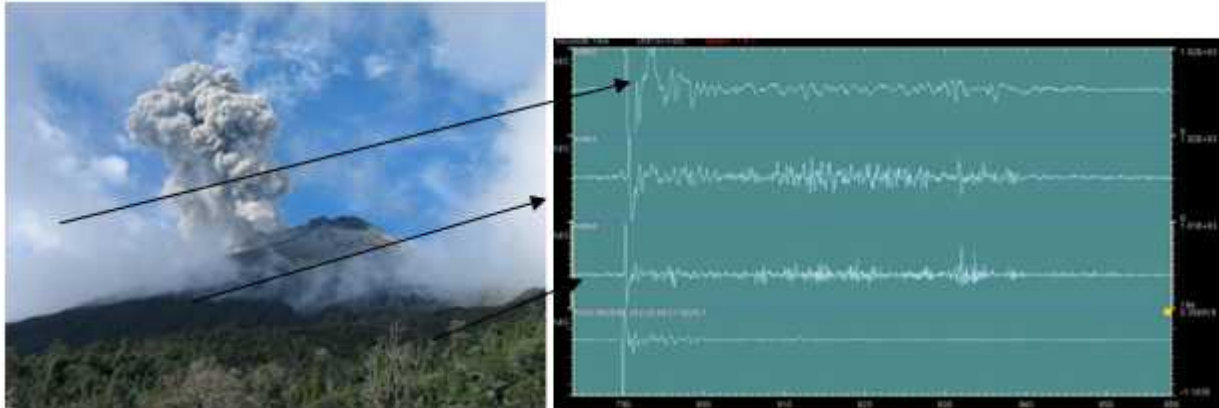
Pada Gambar 14 dapat dilihat contoh aplikasi pemantauan kondisi tubuh manusia dengan *node-node* sensor yang dipasang pada tubuh manusia.



Gambar 14. Penelitian Medis Pada Tubuh Manusia

6. Pemantauan Gunung Berapi di Ecuador

Gambar 15 menunjukkan contoh aplikasi mengenai suatu sistem yang menggunakan jaringan sensor nirkabel yang digunakan untuk memantau kondisi gunung berapi di Ecuador.



Gambar 15. Pemantauan Gunung Berapi di Ecuador

PERENCANAAN JARINGAN SENSOR NIRKABEL

Parameter-parameter utama

Perencanaan jaringan sensor nirkabel merupakan perencanaan yang sangat kompleks karena berbagai aspek terlibat di dalamnya. Faktor-faktor yang memegang peranan dalam melakukan perencanaannya 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 *modus* 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 berdaya rendah, dan penggunaan mikrokontroler. Perbaikan perangkat keras seperti desain 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 desain protokol dalam jaringan sensor nirkabel adalah untuk penggunaan energi yang tepat guna. Tujuan ini dapat dicapai 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 modus-modus secara bergantian (*switching*) antara modus *sleep* dan modus *wake up*. Sinkronisasi pergantian antara modus *sleep* dan *wake up* harus direncanakan sesuai dengan kebutuhan aplikasinya, yang paling membutuhkan perhatian adalah bahwa perioda modus yang lama dapat mengurangi daya respons dan keefektifan dari *node-node* sensor. Oleh karena itu perlu perencanaan yang sesuai mengenai pengaturan *modus sleep* dan *modus wake up*, seperti jika aplikasi membutuhkan faktor kecepatan sebagai hal yang lebih penting maka jadwal keberadaan *modus sleep* harus dijaga sedemikian sehingga tidak mengganggu unjuk kerja *node-node* sensor maka perlu adanya pembatasan persentasi antara perioda *modus sleep* dan *modus 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 dibuat sangat stabil mungkin agar dalam jumlah yang besar *node-node* sensor dapat bekerja serasi dan harmonis 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 luar biasa dengan penggunaan frekuensi banyak kanal (*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 hirarkis. Di samping 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 tinggibersamaan

dengan adanya peralatan yang berkemampuan rendah dengan jumlah besar akan membuat sistem mempunyai arsitektur jaringan yang berdasarkan sistem cluster. Yang menjadi kunci dalam desainnya 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 desain. 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 keteknikan mampu memilih sendiri untuk bekerja secara tepat guna dalam menghadapi suatu *modus* kondisi operasi yang diharapkan atau baik. Sebelum melaksanakan realisasi suatu jaringan sensor nirkabel perlu dilakukan uji kelayakan mengenai ketidakpastian 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.

Systematic Design

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, modularitas, dan adaptasi *run-time* sangat diperlukan dalam pertimbangan secara praktek.

Privacy and Security

Suatu skala yang besar, sifat umum dan sensitifitas dari informasi yang dikumpulkan oleh jaringan sensor nirkabel menimbulkan satu kunci terakhir dalam pertimbangan desain yaitu memastikan mengenai 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 *authenticity* 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.

Production Cost

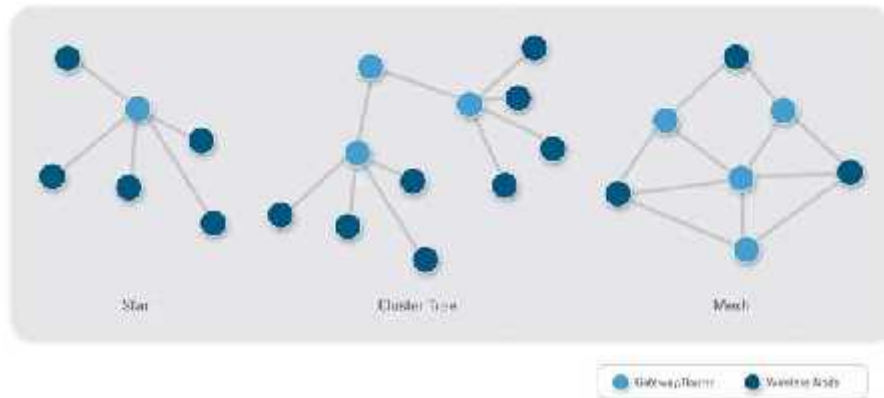
Karena suatu jaringan sensor nirkabel terdiri atas *node-node* sensor dalam jumlah yang sangat besar, oleh karena itu biaya suatu *node* sangatlah penting dipertimbangkan untuk biaya jaringan secara keseluruhan. Jika biaya untuk jaringan sensor nirkabel jauh lebih mahal dibandingkan dengan jaringan sensor 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 diteliti. Oleh karena itu biasanya *node-node* bekerja tanpa adanya manusia pada daerah-daerah yang secara geografis sangat jauh. *Node-node* sensor mungkin bekerja di dalam 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 di seluruh daerah sasaran. *Node-node* disebarkan dalam jarak kurang lebih 10 kaki antara satu *node* dengan yang lain. Kepadatan *node*-nya mungkin 20 *node/m*³. Menyebarkan *node* dengan jumlah besar dengan kepadatan tinggi membutuhkan penanganan hati-hati yang berkaitan dengan perawatan topologi. Pada Gambar 16 dapat dilihat topologi jaringan sensor nirkabel.

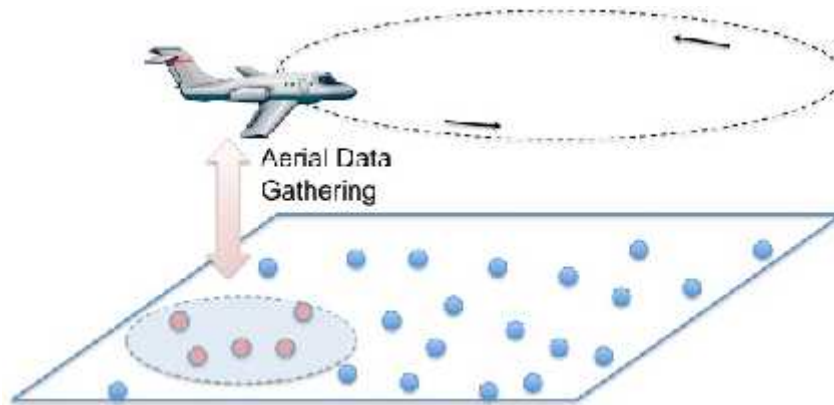


Gambar 16. Topologi suatu jaringan sensor nirkabel

Pada perawatan topologi terdapat perubahan dalam 3 fasa:

1. Fasa *predeployment* dan *deployment*

Node-node sensor dapat dilemparkan secara missal 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 17 menunjukkan *node-node* yang disebarkan dengan dijatuhkan dari pesawat.



Gambar 17. *Node-node* yang dijatuhkan dari pesawat

2. Fasa *Postdeployment*

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

3. Fasa *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.

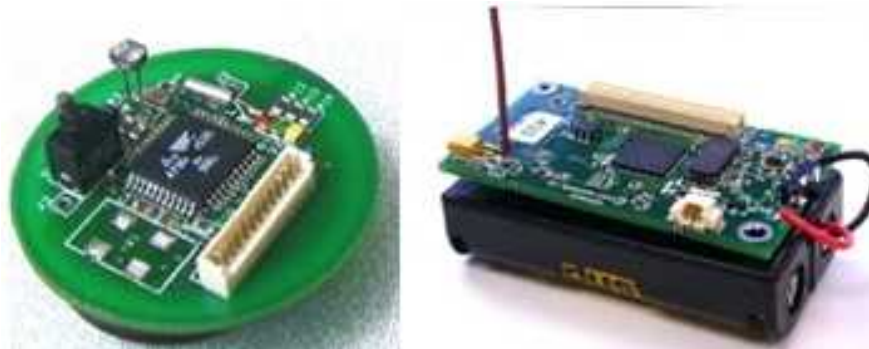
Perangkat Keras

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*). Tambahan komponen aplikasi adalah sistem pencari lokasi (*location finding system*), pembangkit daya (*power generator*) dan *mobilizer*. Unit pendeteksian (*sensing unit*) biasanya terdiri atas dua sub-unit, yaitu sensor dan *analog to digital converter* (ADC). Sinyal analog hasil pengamatan yang dihasilkan sensor diubah menjadi 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 dalam melaksanakan tugas pendeteksian. Unit *transceiver* menghubungkan *node* ke jaringannya. Salah satu komponen terpenting dari *node* sensor adalah unit daya yang bisa berupa *solar cell*. Sub unit *mobilizer* berfungsi untuk memindahkan *node* saat melakukan tugas tertentu. Pada Gambar 18 dan 19 dapat dilihat perangkat keras sebuah *node* sensor.

Perangkat Lunak

Suatu langkah yang kritis untuk mencapai visi di belakang jaringan sensor nirkabel adalah desain 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 daya seperti komunikasi, perhitungan dan memori. *TinyOS* adalah suatu perangkat lunak yang didesain untuk jaringan sensor nirkabel.



Gambar 18. Perangkat Keras *node* sensor



Gambar 19. Sirkuit *node* sensor

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 didesain berdasarkan desain 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 *Smart Dust* yang menggunakan *autonomous sensing*, komputasi 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 yang mengatur penggunaan radio agar penggunaan lebar pita (*bandwidth*)-nya efisien. Penggunaan Medium Access Control juga mempunyai tambahan tujuan yaitu mengatur aktifitas radio untuk menghemat energi. Jika pada 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.

KESIMPULAN

Dari studi literatur yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa suatu Jaringan Sensor Nirkabel harus dirancang atau didesain untuk memenuhi sejumlah kebutuhan-kebutuhan yang meliputi: *Extended Life Time*, *Responsiveness*, *Robustness*, *Fault Tolerance*, *Scalability*, *Synergy*, Heterogenitas, *Self Configuration*, *Self Optimization and Adaptation*, *Systematic Design*, *Privacy and Security*, Biaya Produksi, Kondisi Lingkungan, Topologi Jaringan Sensor Nirkabel, Perangkat Keras, Perangkat Lunak, Media Transmisi dan yang terakhir adalah Protokol.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Krishnamachari, "Networking Wireless Network", Cambridge University Press, 2005
- [2] R. Shorey, A. Ananda, M.C. Chan, T.O. Wei, "Mobile, Wireless, and Sensor Network (Technology, Applications, dan Future Directions), IEEE Press and John Wiley & Sons, Inc, 2006
- [3] IEEE Magazine, "Computer", August 2004
- [4] IEEE Magazine, "Computer", October 2008
- [5] T.S. Rappaport, "Wireless Communication (Principles and Practice)", Second Edition
- [6] A. Hac, "Wireless Sensor Design", John Wiley & Sons
- [7] Jurnal-jurnal, IEEE.
- [8] Dewasurendra, Duminda and M. Amitabh, "Design Challenges in Energy Efficient Medium Access Control for Wireless Sensor Network", by CRC Press LLC, 2005
- [9] J.L. Hill, "System Architecture for Wireless Sensor Network", Thesis, Spring 2003.
- [10] J.A. Stancovic, "Wireless Sensor Network", June 19, 2006
- [11] Computer Network Magazine 38, 2002.