

## IMPLEMENTASI WIRELESS SENSOR NETWORK UNTUK MONITORING RUANG KELAS SEBAGAI BAGIAN DARI INTERNET OF THINGS

Muladi, Marji, Heru Wahyu Herwanto, Samsul Hidayat

**Abstrak:** Penelitian dengan judul Rancang Bangun *Smart Class* Hemat Energi Menggunakan *Wireless Sensor Network* untuk Menciptakan Ruang Belajar yang Sehat dan Nyaman dimotivasi oleh adanya penggunaan energi listrik yang tidak terkontrol dan tidak semestinya. Penggunaan energi listrik ini utamanya untuk pengaturan suhu udara (AC) dan penerangan (lampu) untuk menciptakan ruang yang nyaman. Berdasarkan penelitian sebelumnya diketahui bahwa penggunaan perangkat pengatur kondisi ruangan belum tentu menghasilkan ruang yang sehat dan nyaman. Dengan menggunakan sensor-sensor yang digabungkan pada node-node yang disebarkan merata didalam ruang belajar, kondisi ruang kelas dipantau sehingga setiap area dalam kelas dapat diketahui kondisinya. Sistem penyimpanan data dan monitoring yang dapat diakses melalui jaringan komputer akan menyimpan, mengolah, dan menampilkan kondisi setiap area di ruang kelas.

**Kata-kata Kunci:** monitoring, WSN, ruang kelas, berpendingin

Kualitas sarana dan prasarana pembelajaran sangat berpengaruh terhadap keberhasilan belajar siswa terutama sarana dan prasarana kelas. Kegiatan pembelajaran dari tingkat terendah sampai tertinggi menggunakan kelas sebagai tempat utama untuk beraktifitas. Ruang kelas dibuat dengan ukuran yang sesuai dengan jumlah peserta didik pada tiap kelas dengan tujuan untuk memberikan ruang gerak yang cukup dan ketersediaan udara untuk bernapas yang memadai. Sirkulasi udara dalam ruang dapat terjadi dengan dibuatnya jendela-jendela yang berada di sekeliling ruangan yang sekaligus memberikan pencahayaan yang baik ke dalam ruangan. Menurut hasil penelitian Marsidi dan Kusmindari (2009) diperoleh hasil bahwa suhu dan kelembaban berpengaruh terhadap proses belajar. Pengaruh suhu terhadap aktivitas belajar tidak hanya terjadi pada tingkat pendidikan rendah dan menengah tetapi juga pada pendidikan tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Hartawan (2012) menemukan bahwa suhu ruangan kelas berpengaruh pada respons mahasiswa. Motivasi dan

partisipasi belajar dari pada mahasiswa sangat dipengaruhi oleh suhu ruangan tempat belajar. Standar Baku Mutu menurut Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 261 bahwa suhu ruangan yang dianggap nyaman untuk bekerja adalah antara 18-26°C.

Namun seiring dengan terjadinya perubahan iklim dan pemanasan global, ruangan kelas tradisional seperti tersebut di atas menjadi ruangan yang tidak sesuai lagi untuk kegiatan pembelajaran. Udara di luar jauh lebih panas daripada di dalam kelas, cahaya matahari sangat terang menyilaukan, tiupan udara yang masuk melalui jendela tidak lagi menyegarkan dan menyehatkan karena tingkat polusi udara yang tinggi. Tirai atau gordena menjadi pilihan untuk mengurangi intensitas cahaya, dan kipas angin untuk membantu menurunkan suhu ruangan dan sirkulasi udara. Beberapa sekolah atau perguruan tinggi yang mampu finansial menggunakan pengatur suhu ruangan (*air conditioner*, AC) dan menutup semua jendela sehingga tidak ada udara dan cahaya dari luar yang masuk ke ruangan. Selama kegiatan

i lampu dinyalakan untuk memberikan penerangan dalam ruang kelas. Kebutuhan daya listrik untuk kedua jenis peralatan tersebut akan berlipat mengikuti ukuran dan jumlah ruangan yang dioperasikan sebagai tempat dilaksanakannya kegiatan pembelajaran.

Penggunaan AC untuk mengatur suhu ruangan kelas semakin meningkat karena kualitas udara semakin buruk dan suhu udara semakin panas sebagai efek dari pemanasan global. Dengan suhu udara yang dikehendaki, ruang kelas menjadi tempat yang nyaman untuk belajar. Namun demikian penggunaan AC tidak selalu berdampak baik bagi kesehatan. Prasasti dkk (2005) menyatakan bahwa penggunaan AC pada ruang tertutup tidak mempengaruhi kadar gas-gas SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> dalam udara. AC dengan filter yang baik akan dapat mengurangi bahan partikular dan kadar polen udara. Pengoperasian AC dengan perawatan yang kurang baik akan mengakibatkan kualitas udara menurun dan menyebabkan berbagai gangguan kesehatan yang disebut sebagai *Sick Building Syndrome* (SBS) atau *Tight Building Syndrome* (TBS).

*The National Institute of Occupational Safety and Health* (NIOSH) melakukan pemeriksaan kualitas ruangan dan hasilnya menyebutkan terdapat 5 sumber pencemaran di dalam ruangan yaitu (Aditama, 2002): (a) pencemaran dari alat-alat di dalam gedung seperti asap rokok, pestisida, bahan-bahan pembersih ruangan; (b) pencemaran di luar gedung meliputi masuknya gas buangan kendaraan bermotor, gas dari cerobong asap atau dapur yang terletak di dekat gedung, dimana kesemuanya dapat terjadi akibat penempatan lokasi lubang udara yang tidak tepat; (c) pencemaran akibat bahan bangunan meliputi pencemaran formaldehid, lem, asbes, fibreglass dan bahan-bahan lain yang merupakan komponen pembentuk gedung tersebut; (d) pence-

maran akibat mikroba dapat berupa bakteri, jamur, protozoa dan produk mikroba lainnya yang dapat ditemukan di saluran udara dan alat pendingin beserta seluruh sistemnya; dan (e) gangguan ventilasi udara berupa kurangnya udara segar yang masuk, serta buruknya distribusi udara dan kurangnya perawatan sistem ventilasi udara.

Beberapa ruang kelas dan laboratorium di Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Malang telah menggunakan AC dan proyektor LCD. Jendela di sekeliling ruangan ditutup rapat dan dilapisi dengan gordena untuk mengurangi cahaya yang masuk. Beberapa ruangan pengap dan berbau karena pintu selalu tertutup untuk menjaga suhu udara tetap dingin.

Kegiatan pembelajaran membutuhkan ruangan yang nyaman dan sehat agar memberikan hasil belajar yang memuaskan. Tinjauan dari bidang kependidikan dan kesehatan akan disajikan berdasarkan dari penelitian-penelitian yang sudah pernah dilakukan. Perangkat-perangkat yang digunakan untuk mengatur kondisi ruangan agar nyaman dan sehat perlu dikaji dan dipilih. Perangkat dikontrol berdasarkan kondisi ruangan yang dipantau dan diukur oleh node sensor. Sistem cerdas digunakan untuk membuat keputusan pengontrolan yang tepat dan optimal.

### **Tinjauan Fisis Tubuh Manusia**

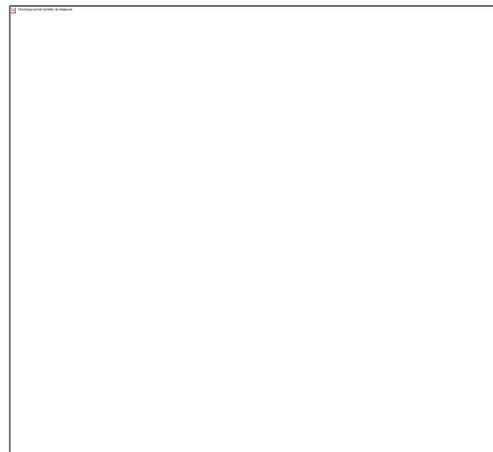
Manusia merupakan titik sentral dari suatu proses perancangan sistem kerja, yang diistilahkan dengan *Human Center Design* (HCD). Oleh karena itu, setiap kegiatan apapun yang bersentuhan dengan manusia perlu memakai konsep HCD untuk mendapatkan rancangan optimal yang memberikan tingkat kinerja tinggi. Dalam Proses Belajar Mengajar (PBM) di perguruan tinggi terlihat begitu tingginya peran manusia dalam rancangan sistem tersebut, dimana interaksi antara mahasiswa dan dosen pada umumnya terjadi di ruang kelas. Oleh karena itu,

pemakaian konsep HCD sangat penting untuk mendapatkan rancangan yang memberikan hasil optimal. Salah satu pertimbangan yang perlu diperhatikan adalah lingkungan kerja, tempat terjadinya proses belajar mengajar tersebut, dimana salah satu variabel pertimbangan adalah kondisi iklim di ruang kelas (kelembaban nisbi atau relatif dan suhu). Kenyamanan proses belajar mengajar salah satunya ditentukan oleh keadaan lingkungan tempat dimana proses tersebut dilakukan. Suhu ruangan dan kelembaban nisbi ruangan dinilai sangat mempengaruhi kelancaran proses tersebut. Suhu yang terlalu panas atau dingin dan tingkat kelembaban yang tinggi menyebabkan ketidaknyamanan bagi pengguna ruangan. Maka dari itu perlu ada solusi jika suhu ruangan dan kelembaban dari ruang kuliah belum memenuhi standar normal.

Tubuh manusia mempunyai suhu tubuh disekitar  $37^{\circ}\text{C}$ , yang terdapat di dalam otak, jantung, dan di daerah organ abdominal. Daerah organ tersebut merupakan suhu inti. Suhu konstan disekitar  $37^{\circ}\text{C}$  berguna menjaga bekerjanya Organ vital tubuh secara normal, sedangkan pada daerah otot, kulit mempunyai suhu sedikit bervariasi. Sistem kontrol yang berguna untuk menjaga suhu inti tubuh dapat dijelaskan oleh Gambar 1 (Grandjean, 1993). Pusat sistem kontrol panas tubuh berada pada batang otak (*brain stem*) yang berfungsi menjaga suhu inti (*core temperature*) tubuh, dimana fungsinya seperti alat thermostat ruang. Sel syaraf dari pusat kontrol panas menerima informasi keadaan suhu tubuh, khususnya pada daerah syaraf yang sensitif yang terdapat di kulit. Pusat kontrol panas mengirimkan impuls yang diperlukan secara langsung dan mengontrol mekanisme untuk menjaga suhu inti tetap konstan. Dengan cara seperti itu, panas tubuh yang dihasilkan akan dikeluarkan melalui sistem sirkulasi,

kemudian panas tersebut dibuang melalui pengeluaran keringat di kulit.

Hal yang sangat penting dalam pengontrolan panas tubuh adalah fungsi dari darah yang membawa panas melalui jaringan pembuluh darah, khususnya jaringan pembuluh darah kapiler dari lokasi tubuh yang panas ke lokasi yang dingin, juga mengirim panas yang ada di dalam tubuh keluar menuju kulit yang akan didinginkan oleh suhu luar tubuh, atau bila kondisi luar tubuh lebih panas, maka panas tersebut akan digunakan untuk memanaskan bagian dalam tubuh yang lain. Hal ini merupakan kunci dari mekanisme kontrol sirkulasi darah di kulit. Sedangkan regulasi kedua untuk mengontrol panas tubuh adalah melalui pengeluaran keringat di kulit. Pada regulasi ketiga adalah perpindahan panas tubuh ke bagian tubuh yang lebih dingin.



Gambar 1. Mekanisme Sistem Kontrol Suhu Tubuh Manusia

### Syarat Kondisi Kelas yang Mendukung Proses Pembelajaran

Persoalan suhu yang berhubungan dengan tingkat tekanan panas atau dingin dipengaruhi oleh kombinasi dari beban kerja, suhu, kelembaban, aliran udara, pakaian, dan lingkungan yang ada disekitar tempat kerja. Untuk mendapatkan solusi dari persoalan diatas adalah merubah kondisi lingkungan yang ada yang sesuai de-

ngan kemampuan manusia, yang meliputi dari faktor lingkungan (suhu, kelembaban, dan aliran udara), pekerjaan (pakaian yang digunakan, jam kerjaistirahat) dan manusia (jenis kelamin, usia, kesehatan, aklimasi). Memelihara kondisi iklim ruang yang nyaman merupakan hal penting dalam menjaga kesehatan dan efisiensi kerja tinggi.

### 1. Metode Penilaian Keseimbangan Panas

Perlu diketahui bahwa tingkat kelembaban dan suhu yang terjadi amat berfluktuasi, pengukuran sesaat yang di ambil pada waktu tertentu akan sangat berbeda dengan hasil pengukuran pada waktu yang lain, sehingga kita sulit mengambil keputusan berapa sebenarnya tingkat kelembaban dalam selang waktu tertentu. Kita dapat mengambil angka rata rata aritmatik, untuk mengetahui perbedaannya, sehingga akan mewakili kondisi kelembaban dan suhu sebenarnya sepanjang waktu tersebut. Untuk itu kita perlu mendapatkan data pengukuran tingkat kelembaban dan suhu untuk digunakan sebagai data memprediksi kondisi mantap dari lingkungan yang ada. Dari beberapa faktor yang digunakan untuk melihat tekanan panas diperoleh rumus berikut (Alexander, 1986; Astrand, dkk. 1986; Sanders, dkk., 1993):

$$S = M + R - CE \dots\dots\dots(1)$$

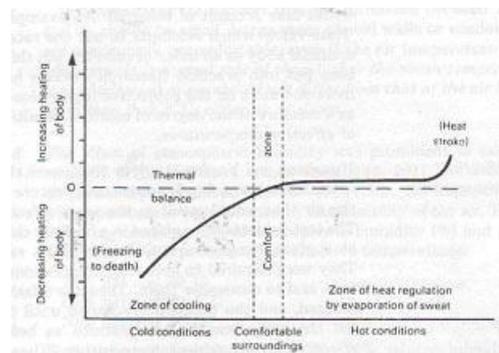
di mana *S* adalah *Storage of Body Heat*, *M* merupakan tingkat metabolime tubuh yang dihasilkan untuk digunakan dalam bekerja. *R* adalah radiasi dari perpindahan panas yang ada, dari panas tubuh ke permukaan yang ada di sekitar tubuh. *C* adalah perpindahan panas secara konveksi, perpindahan panas dari tubuh ke daerah sekitarnya melalui udara yang ada. *E* merupakan kehilangan panas secara evaporasi, pembuangan panas dari tubuh

melalui keringat dan uap air yang dikeluarkan dari paru-paru.

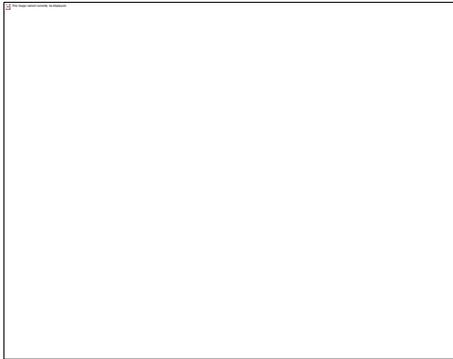
### 2. Ambang Batas Tingkat Kelembaban dan Suhu Ruang.

Pengendalian suhu dan kelembaban ruang adalah suatu usaha untuk mengurangi tingkat efek yang merugikan sedemikian rupa sehingga tingkat kelembaban dan suhu yang ada tidak melampaui harga batas yang telah ditentukan sehingga tidak mengganggu aktifitas kegiatan/bel-ajar.

Ada kriteria yang digunakan untuk mengetahui tingkat suhu yang nyaman menjadi acuan Gambar 2 memperlihatkan bahwa tubuh manusia memberikan reaksi yang ekstrim terhadap suhu yang terlalu dingin maupun terlalu panas. Pada suhu yang terlalu dingin dapat mengakibatkan *frosbite* sedangkan pada suhu terlalu panas akan mengakibatkan *heat stroke*. Sedangkan untuk tingkat kelembaban nisbi yang berhubungan dengan temperatur ruang disajikan Gambar 3.

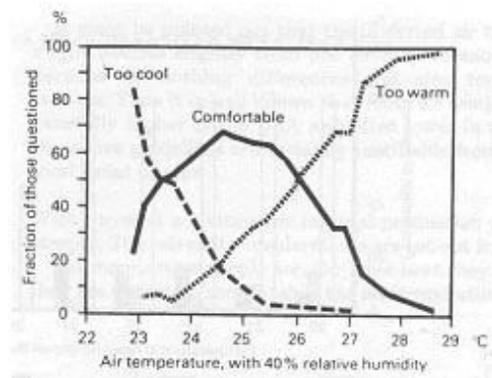


**Gambar 2. Keseimbangan Panas Tubuh Diantara Ekstrim Panas Dan Ekstrim Dingin**



**Gambar 3. Nilai Batas Untuk Beban Panas Terhadap Usaha Fisik (Konsumsi Energi), Kelembaban Nisbi Dan Temperatur Udara**

Pada daerah ekuator suhu normal sekitar 28 °C sampai dengan 30°C. Pada umumnya perbedaan antara suhu inti (*core temperature*) dengan suhu kulit (*skin temperature*) sekitar 4°C, tetapi dimungkinkan sampai 20°C. Untuk kelembaban nisbi antara 30% sampai dengan 70% tidak berpengaruh besar terhadap kesehatan. Daerah musim panas/tropis, untuk kondisi ruang yang tidak memakai AC suhu udara di dalam ruang direkomendasikan antara 20°C sampai dengan 27°C, sedangkan untuk ruang yang memakai AC adalah 24°C. Sedangkan untuk kelembaban nisbi yang nyaman pada daerah tropis atau musim panas adalah antara 40% sampai dengan 60%. Untuk mengetahui tingkat suhu yang optimal dalam suatu lingkungan kerja disajikan pada Gambar 4 (Grandjean, 1993). Dari gambar tersebut diketahui bahwa suhu yang memberikan kondisi nyaman adalah sekitar 23°C sampai dengan 27°C dengan tingkat kelembaban nisbi 40%.



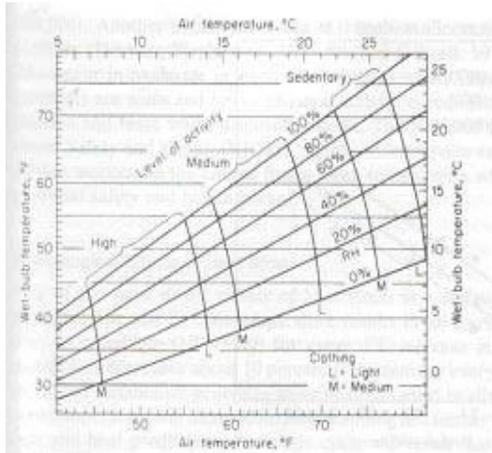
**Gambar 4. Suhu Yang Memberikan Kenyamanan Dalam Bekerja Pada Daerah Tropis.**

### 3. Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT)

Ukuran dari WBGT merupakan ukuran indeks untuk mengukur rata-rata tertimbang atas penjumlahan ukuran dari kondisi alami temperatur (*Natural Wet-Bulb Temperature (NWB)*), Temperatur Global (*Globe Temperature=GT*), dan *Dry-Bulb Temperature (DB)*. Untuk kondisi di dalam ruangan, malam hari, atau cahaya matahari yang rendah menggunakan rumus:

$$WBGT = 0,7 NWB + 0,3 GT \dots\dots (2)$$

Hubungan antara faktor kelembaban nisbi dengan temperatur ruangan disajikan pada Gambar 5 (Sanders, 1995) yang menunjukkan bahwa suhu ruang yang semakin tinggi menyebabkan tingkat kelembaban nisbi juga ikut meningkat.



**Gambar 5. Hubungan Antara Kelembaban Nisbi Dengan Temperatur Ruang**

#### 4. Ruang Ber-AC

Penggunaan *Air Conditioner* (AC) sebagai alternatif untuk mengganti ventilasi alami dapat meningkatkan kenyamanan dan produktivitas kerja, namun AC yang jarang dibersihkan akan menjadi tempat nyaman bagi mikroorganisme untuk berbiak. Kondisi tersebut mengakibatkan kualitas udara dalam ruangan menurun dan dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan yang disebut sebagai *Sick Building Syndrome* (SBS) atau *Tight Building Syndrome* (TBS). Banyaknya aktivitas di gedung meningkatkan jumlah polutan dalam ruangan. Kenyataan ini menyebabkan risiko terpaparnya polutan dalam ruangan terhadap manusia semakin tinggi, namun hal ini masih jarang diketahui oleh masyarakat. Pada dasarnya desain AC yang dipakai untuk mengatur suhu ruangan secara kontinu dapat mengeluarkan bahan polutan. Kadar gas-gas  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , dan  $\text{O}_2$  di dalam ruangan tidak dipengaruhi oleh keberadaan AC. Bahan partikulat dapat dikurangi secara signifikan oleh AC dengan filter yang efektif. Kadar pollen di dalam ruangan dapat berkurang secara signifikan dengan adanya AC. Jumlah bakteri dan spora di gedung dengan AC kemungkinan akan lebih sedikit daripada gedung tanpa AC, walaupun

sampai saat ini hal tersebut masih diperdebatkan. Hasil pemeriksaan *The National Institute of Occupational Safety and Health* (NIOSH), menyebutkan ada 5 sumber pencemaran di dalam ruangan yaitu (Aditama, 2002): (1) pencemaran dari alat-alat di dalam gedung seperti asap rokok, pestisida, dan bahan-bahan pembersih ruangan, (2) pencemaran di luar gedung meliputi masuknya gas buangan kendaraan bermotor, gas dari cerobong asap atau dapur yang terletak di dekat gedung, dimana kesemuanya dapat terjadi akibat penempatan lokasi lubang udara yang tidak tepat, (3) pencemaran akibat bahan bangunan meliputi pencemaran formaldehid, lem, asbes, fibreglass dan bahan-bahan lain yang merupakan komponen pembentuk gedung tersebut, (4) pencemaran akibat mikroba dapat berupa bakteri, jamur, protozoa dan produk mikroba lainnya yang dapat ditemukan di saluran udara dan alat pendingin beserta seluruh sistemnya, dan (5) gangguan ventilasi udara berupa kurangnya udara segar yang masuk, serta buruknya distribusi udara dan kurangnya perawatan sistem ventilasi udara.

Kualitas udara di dalam ruangan mempengaruhi kenyamanan lingkungan ruang kerja. Kualitas udara yang buruk akan membawa dampak negatif terhadap pekerja/karyawan berupa keluhan gangguan kesehatan. Dampak pencemaran udara dalam ruangan terhadap tubuh terutama pada daerah tubuh atau organ tubuh yang kontak langsung dengan udara meliputi organ sebagai berikut : iritasi selaput lendir diantaranya iritasi mata, mata pedih, mata merah, mata berair; iritasi hidung, bersin, gatal yang terdiri dari iritasi tenggorokan, sakit menelan, gatal, batuk kering; gangguan neurotoksik yakni sakit kepala, lemah/capai, mudah tersinggung, sulit berkonsentrasi; gangguan paru dan pernafasan yaitu batuk, nafas berbunyi/mengi, sesak nafas, rasa berat di dada; gangguan kulit

yang terdiri dari kulit kering, kulit gatal; gangguan saluran cerna yakni diare/ mencret; dan gangguan-gangguan lain diantaranya gangguan perilaku, gangguan saluran kencing, sulit belajar.

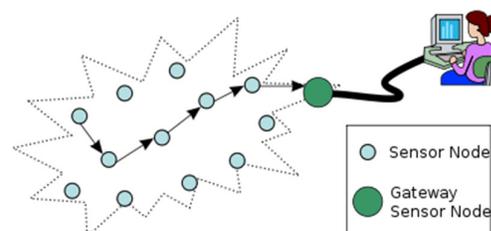
Keluhan tersebut biasanya tidak terlalu parah dan tidak menimbulkan kecacatan tetap, tetapi jelas terasa amat mengganggu, tidak menyenangkan dan bahkan mengakibatkan menurunnya produktivitas kerja para pekerja.

### **Wireless Sensor Network**

Sebuah *wireless sensor network* (WSN) atau jaringan sensor nirkabel terdiri dari sensor otonom spasial didistribusikan untuk memantau kondisi fisik atau lingkungan, seperti suhu, suara, tekanan, dan lain-lain besaran yang secara kooperatif disalurkan melalui jaringan komputer ke lokasi utama (Lewis, 2004). Jaringan lebih modern adalah bi-directional yang memungkinkan kontrol aktivitas sensor dan aktuator. Pengembangan WSN didorong oleh aplikasi militer seperti pengamatan medan perang. Saat ini jaringan tersebut digunakan dalam aplikasi industri dan konsumen, seperti pemantauan proses industri dan kontrol, pemantauan mesin kesehatan (monitoring kondisi pasien) dan lain sebagainya.

WSN dibangun dari "*node*" - dari beberapa sampai beberapa ratus atau bahkan ribuan- yang terhubung ke salah satu atau lebih sensor. Setiap node sensor tersebut biasanya jaringan memiliki beberapa bagian: sebuah transceiver radio dengan antena internal atau koneksi ke antena eksternal, mikrokontroler, sebuah sirkuit elektronik untuk berinteraksi dengan sensor dan sumber energi, biasanya baterai atau bentuk tertanam energi panen (Krishnamachari, 2005). Sebuah node sensor mungkin bervariasi dalam ukuran dari yang dari kotak sepatu ke ukuran sebutir debu, meskipun berfungsi "*motes*" dimensi mikroskopis asli belum dibuat. Biaya node sensor juga sama variabel,

mulai dari beberapa ratusan dolar, tergantung pada kompleksitas dari node sensor individu. Ukuran dan kendala biaya hasil sensor node dalam kendala yang sesuai pada sumber daya seperti energi, kecepatan memori, komputasi dan bandwidth komunikasi. Topologi dari WSNs dapat bervariasi dari jaringan bintang sederhana untuk jaringan multi-hop wireless mesh canggih. Teknik propagasi antara hop jaringan dapat routing atau banjir. Jaringan sensor nirkabel secara umum diilustrasikan pada Gambar 6.



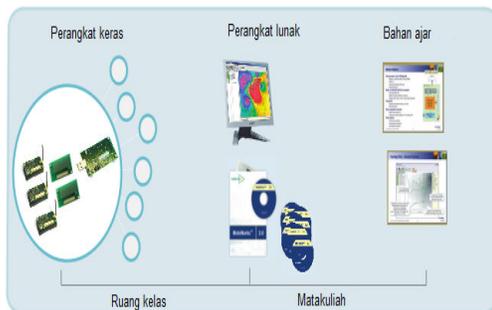
**Gambar 6. Jaringan Sensor Nirkabel Secara Umum.**

Penelitian pada pengembangan sistem WSN telah dilakukan selama sepuluh tahun terakhir. Aplikasi WSN telah dikembangkan pada berbagai bidang diantaranya pemantauan gunung berapi (Zhang, 2005; Werner-Allen dkk, 2006), telepon mobil (Ruan, 2009), sekolah dasar (Silva, 2009; Xuemai dan Liangzhong, 2008), keamanan layanan komunitas cerdas, (Yan, 2006), dan suhu pada bangunan (Bonsawat, .

Hasil penelitian terbaru pada implementasi WSN di dunia pendidikan dilakukan oleh Kim, dkk (2012) yang dimuat dalam *International Journal of Distributed Sensor Networks* Volume 2012. Dalam penelitian ini WSN digunakan sebagai bagian dari teknologi yang berperan sebagai antarmuka antara pebelajar dan konteks pelajaran, meningkatkan interaktifitas dan memperbaiki akuisisi koleksi informasi yang kontekstual dari pebelajar. Sistem belajar dirancang agar

proses pembelajaran dapat dilakukan di mana-mana dan kapan saja (*ubiquitous*).

Berdasarkan hasil-hasil penelitian terdahulu, penelitian ini akan mengkolaborasi sensor-sensor fisik lingkungan dan sensor fisik dari pebelajar. Fisik lingkungan yang diindera terdiri dari suhu, kelembaban, kandungan gas (O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>), dan cahaya. Fisik pebelajar yang diindera adalah kehadiran, gerak fisik, dan ekspresi wajah. Sensor-sensor ini diintegrasikan dalam suatu titik pengukuran yang disebut node sensor. Node sensor juga mengintegrasikan beberapa aktuator untuk mengendalikan perangkat kontrol kondisi fisik lingkungan antara lain, AC, lampu, dan *exhaust fan*. Node sensor ini menggunakan WSN. Beberapa node sensor akan dipasang dalam ruangan dan berkomunikasi dengan server kontrol melalui jaringan *wireless*. Server akan mengirimkan sinyal kontrol melalui jaringan *wireless* menuju node WSN yang akan mengaktifkan aktuator untuk mengendalikan perangkat. Penelitian ini merupakan bagian pertama dari penelitian jangka panjang untuk membangun sebuah *ubiquitous learning system* di Universitas Negeri Malang seperti ditunjukkan ada Gambar 7.



**Gambar 7. Integrasi WSN Dalam Ubiquitous Learning System di Universitas Negeri Malang**

## METODE

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan metode *Research and Development* model *Waterfall*. Untuk men-

capai tujuan penelitian ini digunakan model penelitian *Research and Development* (R&D) yang terdiri dari tahap-tahap utama yakni pengumpulan informasi (definisi kebutuhan), perancangan perangkat keras, pengembangan draft produk awal, pengujian awal sistem, revisi sistem berdasarkan hasil uji coba dan ujicoba sistem. Prosedur yang dilakukan dalam penelitian sesuai dengan model R&D adalah potensi masalah, pengumpulan data, perancangan produk, validasi rancangan, revisi rancangan, uji coba produk, revisi produk, uji coba pemakaian, revisi produk dan implementasi.

Produk yang dirancang dan dibangun terdiri dari unit-unit sensor, kontrol, dan monitor kondisi fisik lingkungan (sistem sensor, sistem aktuator, remote control perangkat, monitoring berbasis jaringan), WSN Node berbasis *wireless fidelity* IEEE 802.11 (wifi), jaringan komputer nirkabel menggunakan protokol IPv4, dan aplikasi kontrol dan monitoring berbasis web.

Langkah-langkah yang akan ditempuh dalam merancang dan mengembangkan seluruh unit-unit sistem tersebut adalah sebagai berikut: (1) Tahap pertama dari kegiatan penelitian ini adalah rancang bangun sistem sensor, rancang bangun kendali aktuator, rancang bangun *remote control* perangkat, dan rancang bangun sistem monitoring berbasis jaringan komputer; (2) Tahap kedua adalah integrasi sistem sensor, kendali aktuator dan *remote control* pada sebuah node WSN; (3) Tahap ketiga adalah rancang bangun sistem komunikasi WSN yang berintegrasi dengan sistem jaringan komputer yang ada; (4) Tahap keempat adalah integrasi sistem WSN dan sistem monitoring; (5) Tahap kelima adalah instalasi dan pengujian sistem pada ruang kelas eksperimen; dan (6) Tahap keenam atau terakhir adalah implementasi dan pengujian seluruh sistem pada ruang kelas eksperimen.

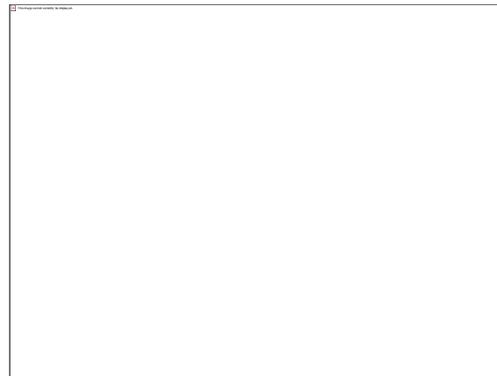
Sumber data berupa pengukuran pada perangkat berdasarkan spesifikasi yang ditentukan. Data juga diperoleh dari hasil pengukuran pada faktor-faktor fisis dan persepsi siswa selama uji coba dan implementasi. Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan teknik observasi, dan pengukuran pada faktor-faktor fisis lingkungan dan kinerja perangkat. Stimulus divariasikan berulang-ulang dan bolak-balik dan dicatat, kemudian didapat data aktivasi aktuator. Analisis *repeatability* dilakukan untuk memprediksi keadaan dalam menangani gejala/fenomena alam yang mungkin terjadi. Pemberian perlakuan dengan memasukkan fenomena/stimulus terkait, yang meliputi memberi variasi CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, suhu, kelembaban, jumlah siswa yang masuk, kegaduhan siswa dan jumlahnya, dan intensitas cahaya lampu penerangan. Variasi beban diberikan untuk mendapatkan nilai daya maksimal yang mampu dikendalikan oleh sistem ini.

Analisis data dilakukan sebagai berikut. Analisis dengan *data fitting* dilakukan untuk data stimulus dan data keluaran sensor, untuk masing-masing sensor untuk mendapat fungsi transfer sensor, reliabilitas, linieritas, dan berbagai karakteristik sensor. Analisis dilakukan dengan membandingkan data hasil pengukuran dengan data referensi yang diperoleh dari perangkat standar. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Instrumentasi Jurusan Fisika FMI-PA UM (Fisika 203, Fisika 210, Fisika 116) dan Laboratorium Jaringan Komputer (H5 201) Jurusan Teknik Elektro FT UM. Implementasi dari produk yang dihasilkan akan dilakukan di Laboratorium Jaringan Komputer (H5.201) dengan waktu pelaksanaan antara bulan Agustus-Nopember 2013.

## HASIL

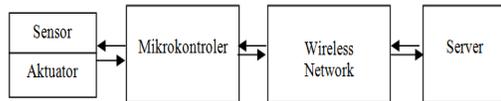
Perancangan WSN menggunakan Wi-

fi Bee pada penelitian ini, diperlukan beberapa perangkat keras tertentu sebagai komponen pembentuk WSN yaitu sensor, aktuator, dan mikrokontroler yang terintegrasi dalam node WSN, *access point* (AP), *remote storage*, dan perangkat untuk *remote access*. Adapun perangkat lunak dari sistem WSN juga berfungsi sebagai sistem monitoring berbasis *web* yaitu *server* yang terdiri dari Apache, PHP, dan MySQL. Pada Gambar 8 ditunjukkan rancangan sistem WSN.



Gambar 8. Rancangan Sistem WSN

Prinsip kerja sistem yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 9. Sensor mendeteksi besaran-besaran fisik yang diinginkan seperti suhu, kelembaban, intensitas cahaya, dan kandungan oksigen di udara. Hasil pengukuran ini diambil oleh mikrokontroler yang mengemas data hasil pengukuran sesuai dengan protokol komunikasi yang digunakan, dalam hal ini adalah IEEE 802.11b. Sistem mikrokontroler ini difungsikan sebagai *wireless sensor node* (WSN) dan dikonfigurasi sebagai sebuah server web ringan yang menyediakan data hasil pengukuran yang sewaktu-waktu dapat diambil/diakses oleh komputer lain yang terhubung pada jaringan komputer nirkabel. Sebuah komputer yang dikonfigurasi sebagai sistem penyimpanan dan pengolah data difungsikan untuk mengambil data dari WSN tersebut.



**Gambar 9. Blok Diagram Sistem WSN**

Sistem penyimpan dan pengolah data diterapkan pada sebuah komputer mini (*small motherboard*) dengan konsumsi daya yang rendah. Data yang diambil dari WSN akan disimpan dan diolah dalam sistem ini untuk dua tujuan yakni untuk monitoring dan kedua untuk melakukan kontrol secara otomatis pada perangkat-perangkat pengatur kondisi udara. Tujuan pertama direalisasikan pada tahun pertama dan tujuan kedua direalisasikan pada tahun kedua penelitian ini. Sistem monitoring dibangun berbasis web dengan basis data yang dinamis sehingga dapat diakses oleh komputer lain melalui jaringan. Dengan melakukan pengontrolan pada perangkat pengatur kondisi ruangan (*AC, exhaust fan, dan lampu*) akan diperoleh kondisi ruangan yang nyaman dan sehat. Pada tahun pertama penelitian ini, pengontrolan perangkat-perangkat tersebut akan dilakukan secara manual. Data yang diperoleh pada pengukuran tahun pertama ini akan digunakan sebagai dasar menentukan besaran-besaran kontrol yang akan dilakukan secara otomatis.

Hasil penelitian pada tahun pertama diorganisasikan dalam dua bagian. Bagian pertamamembahas pengembangan dan pengujian perangkat monitoring dan bagian kedua adalah membahas survey persepsi ruang belajar yang sehat dan nyaman. Data pada bagian pertama diperoleh dari output sistem dan data pada bagian kedua diperoleh melalui instrumen angket yang diberikan kepada mahasiswa yang menggunakan ruang eksperimen ini.

### **Pengembangan dan Pengujian Sistem WSN**

Pengembangan sistem meliputi pengembangan *hardware* (perangkat keras) dan *software* (perangkat lunak) yang dilakukan secara paralel. Pengembangan *hardware* meliputi perakitan, pengaturan konfigurasi, dan integrasi dengan sistem jaringan yang sudah ada. Pengembangan *software* terdiri dari *software* pemrograman untuk mikrokontroler (*driver*), pemrograman aplikasi berbasis web untuk pengambilan data dari WSN, aplikasi berbasis web untuk menampilkan data berupa tulisan maupun grafis, dan pemrograman basis data.

Sensor yang digunakan pada penelitian ini meliputi sensor suhu, sensor kelembaban, sensor  $O_2/CO_2$  dan sensor cahaya. Sensor-sensor ini nantinya dipasang pada *groove* Xbee Carrier melalui *port* I2C. Jumlah *port* I2C pada *groove* Xbee Carrier hanya satu sehingga diperlukan multipleksing agar seluruh sensor dapat dipasang dan dapat berfungsi dengan baik. Sensor suhu dan sensor kelembaban menjadi satu modul (*groove*) yang kompatibel dengan *groove* Xbee Carrier. Modul sensor untuk  $O_2/CO_2$  dan modul sensor cahaya serta perangkat multipleksing dirancang dan dikembangkan dengan menggunakan mikrokontroler sebagai komponen pengendalinya.

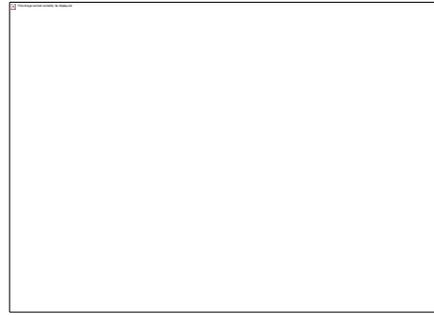
Sistem penyimpan dan pengolah data pada prinsipnya sama dengan sebuah server web yang menyediakan layanan web dinamis. Server ini bertugas mengambil data dari seluruh sistem sensor, menyimpan data ke dalam sistem basis data, mengolah data, dan menyiapkan data untuk ditampilkan di halaman web secara dinamis. Server web ini dibangun dengan menggunakan Small Motherboard (SMB) yang membutuhkan daya listrik lebih kecil daripada komputer personal (PC) biasa. SMB membutuhkan prosesor, memory, dan media penyimpanan. Layar

monitor, *keyboard*, dan *mouse* ditambahkan sebagai peripheral eksternal.

Layanan web disediakan oleh server web yang menggunakan *software* Apache dengan bahasa pemrograman PHP. Penyimpanan dan pengolahan basis data menggunakan MySQL. Sistem operasi yang digunakan adalah Ubuntu 12.04. Keempat *software* yang digunakan tersebut merupakan *software open source*. Sistem server ini telah selesai dibangun dan dapat diakses melalui jaringan komputer baik melalui kabel ataupun wireless.

Pada penelitian ini dirancang dan dibangun sistem monitor yang dapat diakses melalui jaringan komputer. Sistem monitor ini terdiri dari aplikasi antarmuka berbasis web dan sistem basis data yang berfungsi untuk menyimpan dan mengolah data. Aplikasi berbasis web yang dirancang ini mempunyai dua fungsi, yakni mengambil data dari masing-masing sistem sensor yang dipasang didalam ruangan dan menampilkan informasi monitoring. Hasil pengambilan data dari sistem sensor disimpan dan diolah dalam sistem basis data. Aplikasi web telah dikembangkan dan bekerja dengan baik dalam menjalankan kedua fungsi tersebut, demikian juga halnya dengan sistem basis data. Aplikasi yang lain terdiri dari aplikasi untuk mengisikan data ke tabel, memisahkan data dari masing-masing sensor, dan menampilkan data dalam bentuk tulisan maupun grafis. Aplikasi-aplikasi ini diuji ketika server telah dapat berkomunikasi dengan node WSN yang akan dilakukan pada tahap penelitian selanjutnya.

Node WSN terdiri dari *groove* Xbee Carrier sebagai bagian utama, Wifi Bee sebagai antarmuka komunikasi ke jaringan komputer secara *wireless*, *groove relay*, dan *groove* sensor. Konektifitas node WSN yang terdiri dari *groove* Xbee Carrier, WifiBee, dan sensor ditunjukkan pada Gambar 10.



**Gambar 10. Rangkaian Sensor, Wifi Bee dan Xbee Carrier**

Pengembangan sistem komunikasi WSN berintegrasi dengan sistem jaringan komputer yang ada. Pengembangan sistem dilakukan melalui konfigurasi akses poin, library WifiBee, dan konfigurasi WifiBee. Konfigurasi akses poin diperlukan untuk mengatur pengalamatan jaringan menggunakan IPv4, nama jaringan (SSID), dan mengatur keamanan komunikasi. Dalam penelitian ini digunakan alamat IP privat kelas C. Konfigurasi library pada WifiBee diperlukan untuk menyesuaikan pengaturan dalam file *library* sehingga diperoleh konfigurasi yang selaras antara seluruh pengaturan yang harus dilakukan. Pengaturan benar jika program yang ada dalam Wifi Bee dikompail tidak terjadi *error* (kesalahan). *Library* yang perlu diubah adalah *clock-arch.c*, *wi-shield.cpp*, *wiserver.cpp*, dan *wiserver.h*. Konfigurasi Wifi Bee dilakukan dengan menggunakan *software* Arduino IDE. Pada konfigurasi ini dilakukan pengaturan alamat IP dari node sensor yang dipilih dari alamat IP yang disediakan oleh akses poin. Parameter berikutnya yang dikonfigurasi adalah nama SSID dari akses poin dan sistem keamanan sekaligus *password* yang diatur sama dengan akses poin. Setelah seluruh parameter diatur maka dilakukan kompilasi dengan menggunakan Arduino IDE dan di-*download* ke Wifi Bee.

Setelah menyelesaikan konfigurasi seluruh perangkat komunikasi, pengujian koneksi dari WSN ke server dilakukan

dengan skenario penempatan WSN yang berbeda terhadap posisi akses poin. Hasil pengujian ini akan menentukan posisi WSN pada saat implementasi di ruang belajar. Hasil pengujian ditunjukkan Tabel 1.

**Tabel 1. Waktu Respon Koneksi WSN Node ke Akses Poin**

Respon ke-	Jarak WSN – Akses Poin		
	5 m	10 m	15 m
1	2024	2022	1523
2	2523	RTO	1505
3	1522	2054	1526
4	2022	2020	1988
5	2023	2547	2523
6	2524	1497	2024
7	2024	1523	2019
8	RTO	RTO	RTO
9	838	RTO	714
10	1336	785	RTO
11	1523	1313	RTO
12	2028	1517	RTO
13	2518	RTO	RTO
14	2025	2402	RTO
15	2026	2026	RTO
16	2019	2533	RTO
17	1523	1270	RTO
18	RTO	RTO	597
19	1597	RTO	1620
20	RTO	RTO	RTO
21	1167	RTO	1727
22	1523	2757	2523
23	1522	2515	1512
24	2072	1519	1492
Rata-rata	1827,571	1893,75	1663,786
Maksimum	2524	2757	2523
Minimum	838	785	597
Jumlah RTO			

Rata-rata waktu respon dari WSN hampir untuk jarak 5 m, 10 m, dan 15 m dari akses poin yakni berturut-turut 1827,57 mili detik, 1893,75 mili detik, dan 1663,79 mili detik. Rata-rata dari ketiga waktu respon tersebut adalah 1795,04 mili detik. Waktu respon maksimum dari pengukuran pada ketiga jarak tersebut adalah 2757 mili detik pada jarak 10 meter. Dengan demikian pengambilan data dari server ke WSN melalui akses poin dapat dilakukan dengan jeda minimal 2757 mili detik atau jika dibulatkan ke ratusan terdekat menjadi 2800 mili detik

atau 2,8 detik. Atau, karena variasi waktu respon yang sangat besar maka pengambilan data dapat dilakukan segera setelah pengambilan data sebelumnya telah berhasil (data sudah diterima oleh server. Protokol pengambilan data dari server ke WSN untuk selanjutnya menggunakan cara yang kedua tersebut.

Hasil pengujian tersebut diatas juga menunjukkan bahwa waktu respon WSN tidak dipengaruhi oleh jarak antara WSN dengan akses poin. Namun demikian pada jumlah pengujian yang sama, jumlah RTO lebih banyak pada jarak semakin jauh. Hal ini berarti bahwa kegagalan transmisi data antara server dan WSN akan semakin sering terjadi sehingga pengumpulan data gagal dilakukan.

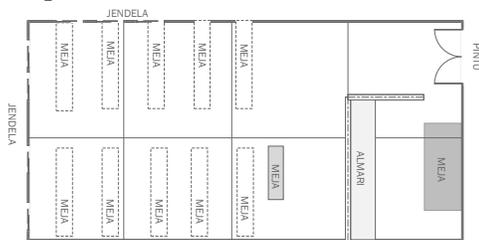
Sistem WSN diintegrasikan dengan sistem monitoring agar data hasil pengukuran dapat disimpan secara terpusat dan diakses dari jaringan komputer. Data yang dikumpulkan oleh node sensor dalam sistem WSN akan diambil (*pull*) oleh server dengan menggunakan aplikasi berbasis web. Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua sensor yaitu sensor suhu dan sensor kelembaban.

Aplikasi berbasis web yang dijalankan melalui browser berfungsi untuk membuat koneksi dengan database, berkomunikasi dengan node sensor, mengubah data menjadi *string*, merubah *string* menjadi *array*, dan menjalankan *query* MySQL yang memerintah untuk memasukkan array ke database. Jika berhasil maka aplikasi akan menampilkan pemberitahuan. Aplikasi menjalankan perintah melakukan koneksi ke database, menyeleksi data yang diinginkan, dan memasukkannya ke dalam bentuk tabel. Data yang disimpan dalam tabel disajikan dalam bentuk grafik yang berubah secara periodik dengan jeda waktu yang dapat diatur. Hasil monitoring ini menyajikan kondisi nyata (*real time*) dari ruang kelas. Tampilan grafik monitoring ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Tampilan Grafik Suhu

Ruang kelas yang digunakan sebagai prototipe sistem monitoring kondisi lingkungan berbasis WSN adalah ruang Laboratorium Jaringan Komputer yang berada pada Gedung H5 Lantai 2 Fakultas Teknik. Ruangan laboratorium ini berukuran 8x16 meter dengan pintu menghadap ke lorong/koridor, sisi belakang menghadap ke udara bebas luar gedung dan satu sisi yang lain hanya sebagian yang menghadap ke luar gedung. Jendela dari kaca dengan daun yang dapat dibuka sebagian bagian bawahnya. Lubang angin-angin tertutup kaca setengahnya pada setiap sisi sehingga menyisakan lubang untuk pertukaran udara. Pintu dua daun yang terbuat dari kaca menghadap ke koridor gedung dimana di koridor ini tidak ada lubang angin dan sirkulasi udara berasal dari lorong tangga pada kedua sisi gedung. Tata ruang Laboratorium Jaringan Komputer ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Tata ruang Laboratorium Jaringan Komputer

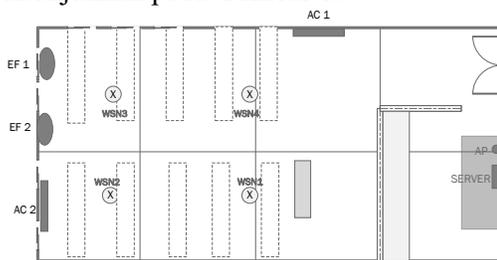
Dengan desain seperti ini, sirkulasi udara di ruang kelas tidak dapat maksimal yang menyebabkan ruangan terasa

semakin panas ketika dilakukan aktifitas didalamnya. Disamping itu, efek lain yang terasa adalah bernapas menjadi semakin berat dan udara semakin berbau. Ruangan cukup terang karena cahaya dari luar dan penerangan lampu digunakan ketika cahaya di luar tidak cukup terang misalnya pada saat hujan atau sore hari. Kondisi seperti ini menyebabkan kegiatan belajar tidak nyaman dan menyenangkan terutama pada siang dan sore hari serta pada saat cuaca panas.

Ruang Laboratorium Jaringan Komputer yang digunakan sebagai prototipe sistem Smart Class ini memiliki kapasitas 40 tempat duduk dengan lima meja panjang ditambah dengan meja dan kursi dosen. Pada ruangan ini telah terpasang proyektor LCD sebagai alat bantu pembelajaran. Sebagian dari ruangan kelas ini disekat sementara menggunakan almari yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan alat dan bahan praktikum. Ruangan sekat ini digunakan sebagai tempat kerja bagi dosen dan asisten praktikum untuk melakukan persiapan dan evaluasi hasil praktikum. Tingkat utilitas ruangan ini sangat tinggi karena disamping digunakan sebagai ruang laboratorium (tempat praktikum), ruangan ini juga digunakan sebagai ruang kelas biasa (teori).

Faktor-faktor yang menyebabkan suatu ruangan tidak nyaman adalah suhu, kelembaban, dan komposisi gas di udara terutama oksigen ( $O_2$ ) dan karbondioksida ( $CO_2$ ). Pada penelitian ini faktor suhu dan kelembaban didalam ruang dimanipulasi dengan menggunakan *air conditioner* (AC) sebanyak 2 buah (AC1 dan AC2) yang berkapasitas masing-masing 1 pK. Sementara itu untuk memanipulasi jumlah  $O_2$  dan  $CO_2$  digunakan kipas keluar (*exhaust fan*, EF1 dan EF2) untuk membuang udara keluar dengan diameter masing-masing 35 cm dipasang di lubang jendela. Kipas kedalam (*inhaust fan*) tidak dipergunakan karena

akan menyebabkan partikel debu masuk ke dalam ruangan. Seluruh jendela dan lubang ventilasi ditutup rapat sehingga tidak ada udara yang masuk. Penempatan perangkat-perangkat pengkondisi tersebut sepenuhnya mempertimbangkan aspek teknis sehingga diperoleh tata letak perangkat seperti ditunjukkan pada Gambar 12. Modul-modul WSN diletakkan pada posisi mahasiswa duduk dengan menempatkannya di atas meja dengan pertimbangan agar sensor mengukur kondisi udara yang dihirup oleh mahasiswa. Tata letak sensor (WSN1 sampai dengan WSN4) dan akses poin (AP) serta server ditunjukkan pada Gambar 13.



**Gambar 13. Tata Letak Perangkat**

Pengukuran suhu, kelembaban, dan kadar CO<sub>2</sub> di ruang kelas pada kondisi awal yakni ketika ruang kelas belum dipasang perangkat pengkondisi kelas. Dengan sirkulasi udara yang minim dan suhu tergantung sepenuhnya pada suhu luar kelas maka kondisi ruang kelas akan berubah sesuai dengan aktifitas yang dilakukan dalam ruangan. Jika aktifitas semakin bertambah dalam kurun waktu satu hari maka suhu, kelembaban dan kadar CO<sub>2</sub> terus meningkat. Peningkatan ketiga komponen kondisi udara tersebut pada pagi, siang dan sore hari masing-masing pada jam 09.00, 12.00, dan 15.00. Data hasil pengukuran dari 4 sensor pada WSN hamper sama dengan selisih kurang 0,1% sehingga diambil nilai rata-ratanya. Data hasil pengukuran pada cuaca panas dan hujan ditunjukkan pada Tabel 2.

Peningkatan suhu sebesar 2 derajat Celcius terjadi setiap 3 jam atau 6 derajat

Celcius selama 8 jam pada cuaca panas. Pada cuaca hujan, suhu tetap meningkat meskipun lebih rendah daripada ketika cuaca panas yakni 2 derajat lebih rendah. Demikian juga halnya kelembaban yang meningkat cukup tinggi pada cuaca panas yakni 5 ppm dan meningkat 2 ppm pada saat cuaca hujan. Kadar CO<sub>2</sub> di udara meningkat sama besarnya baik pada cuaca panas maupun cuaca dingin yakni sekitar 2 ppm.

**Tabel 2. Kondisi Udara Pada Cuaca Panas dan Hujan**

Cuaca Panas	Jam			
	07.00	09.00	12.00	15.00
Suhu	21	23	28	29
kelembaban	58	59	62	63
CO <sub>2</sub>	383	383	385	386

Cuaca Hujan/ Mendung				
	07.00	09.00	12.00	15.00
suhu	20	22	26	28
kelembaban	61	61	62	62
CO <sub>2</sub>	383	383	385	386

Pengukuran kondisi ruangan dilakukan dua tahap yakni ketika ruangan menggunakan AC dan ketika ruangan menggunakan AC dan kipas *exhaust*. Suhu AC diatur pada 20 °C. Tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran suhu, kelembaban, dan kadar CO<sub>2</sub> pada keempat WSN pada jam 07.00, 09.00, 12.00 dan 15.00 pada cuaca hujan (cuaca pada saat masa pengukuran selalu hujan).

**Tabel 3. Kondisi Ruang Kelas Dengan AC**

Besaran	Sensor	Jam			
		07.00	09.00	12.00	15.00
Suhu	WSN1	20	20	20	21
	WSN2	20	20	22	22
	WSN3	20	22	24	24
	WSN4	20	20	23	23
Kelembaban	WSN1	58	58	58	59
	WSN2	58	59	59	59
	WSN3	58	59	59	60
	WSN4	58	59	59	59

	WSN1	383	383	384	384
CO <sub>2</sub>	WSN2	383	384	384	384
	WSN3	383	384	385	385
	WSN4	383	384	384	384

Pemasangan pengkondisi suhu ruangan (AC) mampu menurunkan suhu dalam ruangan dan menjaganya selama aktifitas di kelas berlangsung. Demikian juga dengan kelembaban dan kadar CO<sub>2</sub> yang meningkat relatif lebih rendah setelah penggunaan AC. Hasil pengukuran juga menunjukkan bahwa kondisi ruangan tidak merata pada seluruh lokasi tempat duduk mahasiswa. Lokasi WSN1 adalah paling dingin diantara keempat lokasi di kelas karena mendapat sorotan dari dua AC sekaligus. Sebaliknya lokasi WSN3 adalah lokasi yang paling panas karena tidak mendapat sorotan dari AC manapun dan hanya mendapatkan pantulan sorotan dari tembok. Pada lokasi WSN2 dan WSN4 kondisinya hampir sama karena masing-masing mendapat sorotan dari satu AC yaitu berturut-turut AC1 dan AC2.

Peningkatan kelembaban dari seluruh lokasi adalah 1 ppm dan peningkatan kadar CO<sub>2</sub> juga sebesar 1 ppm. Pengukuran kelembaban dan kadar CO<sub>2</sub> juga menunjukkan bahwa lokasi WSN1 mendapatkan porsi kelembaban yang paling rendah dan WSN3 memiliki kelembaban yang paling tinggi. Lokasi WSN 3 juga memiliki kadar CO<sub>2</sub> tertinggi dibandingkan ketiga lokasi lain dalam ruangan hal ini disebabkan turbulensi aliran udara dalam ruangan yang terjadi pada WSN3. Untuk mengatasi masalah turbulensi ini maka diatas jendela lokasi WSN3 dipasang 2 buah kipas *exhaust* untuk menghisap udara keluar. Hasil pengukuran kondisi ruangan dengan penambahan AC dan kipas *exhaust* ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4. Kondisi Ruang Kelas Dengan AC dan Kipas Exhaust**

**Tabel 5. Survei Kenyamanan Ruang Kelas**

Besaran	Sensor	Jam			
		07.00	09.00	12.00	15.00
Suhu	WSN1	20	20	20	21
	WSN2	20	20	21	22
	WSN3	20	21	21	22
	WSN4	20	20	21	21
Kelembaban	WSN1	58	58	58	58
	WSN2	58	58	58	58
	WSN3	58	58	58	59
	WSN4	58	58	58	58
CO <sub>2</sub>	WSN1	383	383	383	384
	WSN2	383	383	384	384
	WSN3	383	383	384	384
	WSN4	383	383	384	384

Penggunaan kipas *exhaust* pada lokasi WSN 3 terbukti dapat mengatasi turbulensi udara pada lokasi tersebut yang ditunjukkan oleh menurunnya suhu, kelembaban, dan kadar CO<sub>2</sub>. Tabel 5.3 menunjukkan bahwa suhu di WSN3 sama dengan suhu di WSN2 dan WSN4. Demikian juga halnya dengan tingkat kelembaban di WSN3 sama dengan di WSN2 dan WSN4 meskipun pada sore hari lebih tinggi 1 ppm dibanding dengan kedua lokasi tersebut. Distribusi dalam ruangan mencapai kondisi homogen yang ditunjukkan oleh kadar CO<sub>2</sub> yang sama besar pada semua lokasi.

Survei persepsi kondisi ruang belajar dilakukan pada ruang eksperimen dari penelitian ini dengan responden mahasiswa yang hadir pada perkuliahan yang sedang diselenggarakan. Jumlah mahasiswa per kelas adalah 40 orang. Survei dilakukan pada pagi, siang, dan sore hari pada mahasiswa yang berbeda karena tidak dijumpai mahasiswa yang sama kuliah pada pagi, siang, dan sore sepanjang minggu di ruang Laboratorium Jaringan Komputer. Hasil survei ditunjukkan pada Tabel 5.

Nomor	Jumlah Jawaban					Persentase				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	2	2	33	3	0	5%	5%	83%	8%	0%
2	0	3	34	3		0%	8%	85%	8%	0%
3	0	0	2	18	20	0%	0%	5%	45%	50%
4	0	0	2	18	20	0%	0%	5%	45%	50%
5	0	2	29	9	0	0%	5%	73%	23%	0%
6	2	2	35	1	0	5%	5%	88%	3%	0%
7	2	4	30	3	1	5%	10%	75%	8%	3%
8	0	1	4	10	25	0%	3%	10%	25%	63%
9	4	5	25	5	1	10%	13%	63%	13%	3%

Dari hasil survey tersebut diperoleh informasi bahwa 83% mahasiswa menyatakan suhu ruangan sedang (pertanyaan 1), 8% yang menyatakan ruang belajar panas, dan sisanya menyatakan dingin dan sangat dingin. Udara dalam ruang belajar nyaman dan tidak menyesakkan (segar) yang dinyatakan dari jawaban soal nomor 3 dan 4 dengan persentase 45% segar dan 50% sangat segar. Gangguan suara yang disebabkan oleh peralatan pengkondisi hampir tidak ada yang diperoleh dari jawaban soal nomor 6 dan 7 yang menyatakan bahwa ruangan kedap (88%) dan suara peralatan (75%). Hembusan angin dari AC dan kipas exhaust juga tidak tidak dirasakan oleh mahasiswa yang dinyatakan dari jawaban soal nomor 9 yakni nyaman (25%) dan menambah kenyamanan (63%).

## PEMBAHASAN

Pengujian kondisi ruang belajar yang telah dilakukan dengan tiga skenario kondisi menunjukkan bahwa pengkondisi suhu ruangan (AC) memiliki peran yang sangat penting dalam menciptakan kondisi yang nyaman. Kondisi nyaman ditunjukkan oleh keadaan suhu, kelembaban dan kadar CO<sub>2</sub> pada udara di ruang belajar yang sesuai dengan kebutuhan fisik manusia. Dengan penggunaan AC, suhu ruangan dapat dijaga agar tidak

melonjak terlalu tinggi yang mengakibatkan menurunnya kenyamanan secara berangsur-angsur. Namun demikian AC tidak dapat mempertahankan suhu pada nilai tertentu terutama jika aktifitas didalam ruangan tinggi dan jumlah orang dalam ruangan cukup besar (sesuai kapasitas ruangan).

Tata letak AC akan mempengaruhi distribusi suhu, kelembaban dan kadar CO<sub>2</sub> dalam ruangan. Namun demikian kondisi ruangan tidak dapat mencapai kondisi homogen sehingga tingkat kenyamanan tidak merata pada seluruh ruang belajar. Penggunaan kipas *exhaust* dapat membantu menciptakan kondisi udara yang homogen di dalam ruang belajar dengan memperhatikan tata ruang dan tata letak pengkondisi udara. Hasil pengujian pada skenario ketiga membuktikan bahwa penggunaan kipas *exhaust* dapat membantu menciptakan kondisi ruang belajar yang nyaman pada seluruh lokasi dalam ruangan.

## KESIMPULAN

Dari data dan pembahasan hasil penelitian yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Sistem WSN dapat dibangun untuk mengukur kondisi ruang belajar secara-

- ra akurat pada lokasi-lokasi di sekitar sensor.
2. Sistem WSN dapat terintegrasi dengan jaringan komputer lokal sehingga data hasil pengukuran dapat disimpan dan diakses melalui jaringan komputer.
  3. Pengkondisian ruang belajar dengan menggunakan perangkat pengkondisi suhu dan aliran udara mampu menciptakan ruang belajar yang nyaman dan sehat.

## SARAN

Beberapa saran yang perlu dipertimbangkan terkait dengan hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil pengukuran akan lebih akurat dalam menciptakan kondisi yang nyaman jika menggunakan jumlah WSN yang lebih banyak.
2. Sensor oksigen ( $O_2$ ) perlu ditambahkan karena kenyamanan atau kelelahan pernapasan tidak hanya dipengaruhi oleh karbondioksida ( $CO_2$ ) tetapi juga oleh oksigen ( $O_2$ ).
3. Pengukuran kenyamanan dilakukan pada sample mahasiswa yang sama pada seluruh waktu dan cuaca.

## DAFTAR RUJUKAN

- Aditama, Tjandra Y. 2002. *Kesehatan dan Keselamatan Kerja*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Alexander, DC. 1986. *The Practice and Management of Industrial Ergonomics*. New Jersey: Prentice Hall.
- Grandjean E. 1993. *Fitting the Task to the Man, 4th Edition*. London: Taylor & Francis.
- Kroemer KHE, Kromer HB, Kroemer-Elbert KE. 1994. *Ergonomics: How to Design for Ease and Efficiency*. New Jersey: Prentice Hall.
- Hartawan, A. 2012. *Studi Pengaruh Suhu Terhadap Kecepatan Respon Mahasiswa di Ruang Kelas dengan Metode Design of Experiment*. Skripsi. Program Studi teknik Industri, Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.
- Kim, H. dkk. 2012. *Design of an Effective WSN-Based Interactive u-Learning Model*. International Journal of Distributed Sensor Networks Volume 2012 (2012).
- Krishnamachari, B. 2005. *An Introduction to Wireless Sensor Network*. Tutorials presented at Second International Conference on Intelligent Sensing and Information Processing (ICISIP), Chennai, India, January 2005.
- Lewis, F. L., 2004. *Wireless Sensor Network. Technologies, Protocol, and Applications*: D.J Cooks and S. K. Das (editors), New York: John Willey and Sons, 2004.
- Konz S. 1983. *Work Design: Industrial Ergonomics, 2nd Edition*. New York: Mcgrill Publishing.
- Marsidi dan Kusmindari, D. 2009. *Pengaruh Tingkat Kelembapan Nisbi dan Suhu Ruang Kelas Terhadap Proses Belajar*. Jurnal Ilmiah TEKNO, Vol. 6, No. 1 Tahun 2009.
- Prasasti, dkk. 2005. *Pengaruh Kualitas Udara pada Ruangan Ber-AC bagi Gangguan Kesehatan*. Jurnal Kesehatan Lingkungan : No. 1, Vol. 2. Universitas Airlangga.
- Silva, R. dkk, 2009. *Wireless Sensor Networks to support elementary school learning activities*. International Conference on Computer and Technologies.
- Ruan, Zheng. 2009. *Wireless Sensor Network Deployment in Mobile Phones Environment*. PhD Thesis. Upshala University.
- Sanders M., McCormick. 1993. *Human Factors in Engineering and Design, 7th Edition*. Singapore: McGraw Hill.

- Werner-Allen, G. dkk. 2006. *Deploying Wireless Sensor Network on an Active Volcano*. IEEE Internet Computing Magazine, March-April 2006.
- Xuemei, L. dan Liangzhong, J. 2008. *WSN Based Innovative Education Practice*. Proceeding CCCM '08 Proceedings of the 2008 ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management - Volume 01 Pages 704-707.
- Yan, R.H., dkk. 2006. *Wireless Sensor Network Based Smart Community Security Service*. The 2nd Workshop on Wireless, Ad Hoc, and Sensor Networks. August 10, 2006. National Central University, Taiwan.