

**“GREEN MAP”  
SISTEM MONITORING DAN PETA  
VISUALISASI DISTRIBUSI  
KUALITAS UDARA BERBASIS WEB**

**Adhe Widianjaya<sup>1)</sup>, Rafika Nilasari Handoko<sup>2)</sup>,  
Dion Firmanda<sup>3)</sup>,  
Ahmad Yusuf Ardiansyah<sup>4)</sup>, Rama Widi  
Pradita<sup>5)</sup>**

Program Studi Teknik Komputer, Departemen  
Teknik Informatika dan Komputer, PENS

<sup>1</sup>email: adhe@student.eepis-its.edu

<sup>2</sup>email: rafika@student.eepis-its.edu

<sup>3</sup>email: dionfirmanda@student.eepis-its.edu

<sup>4</sup>email: ahmadyusuf@student.eepis-its.edu

<sup>5</sup>email: ramawidi@student.eepis-its.edu

**Abstract**

*Degradation of air quality condition attracts worldwide attention. Less and poor informations cause the low people attention for this threatening environment condition. Monitoring facilities managed by government today, aren't effective yet in the quality and quantity point of view. Their price were also so expensive causing low quality and numbers of monitoring devices. Team has developed web based air quality map and its sensor devices as the solution for this issues. Team has done data mining in the responsible government agencies and people of Surabaya to support the result later. Team then did the development of sensor devices and its web server. Three sensor devices which were placed in several points in Surabaya for testing and evaluation. The "Green Map" system gave good result in air quality data recording and presentation. It was able to give air quality level and early warning indicator through the map visualization. Finally, the system has potential to become new facilities which can be used to educate the pabulic about environmental conditions.*

**Keywords:** Air Quality, Low Cost Sensor, Mikrokontroler, Data Visualization, Urban Sensing

## **1. PENDAHULUAN**

Udara yang bersih dan berkualitas merupakan salah satu kebutuhan utama

manusia. Berdasarkan data kualitas udara yang diperoleh dari Badan Lingkungan Hidup, khususnya untuk kota-kota besar di Indonesia seperti Surabaya dan Jakarta, tingkat kualitas udara mengalami trend penurunan dari tahun ke tahun. World Health Organization (WHO) juga merilis data yang menunjukkan sekitar 1,4 miliar penduduk kota di dunia hidup di area yang mengandung polutan yang melebihi aturan yang diberikan. Kualitas udara yang rendah meningkatkan resiko terhadap gangguan dan kegagalan organ pernapasan. Di samping itu kontaminasi polutan dalam waktu yang singkat meningkatkan jumlah penderita asma hingga serangan jantung. Urjensi terhadap pengawasan dan pengendalian kualitas udara menjadi meningkat, khususnya di kota-kota besar di Indonesia.

Kesadaran masyarakat terhadap rendahnya kualitas udara tidak lepas dari peran pihak-pihak yang berkewajiban untuk melaporkan kualitas udara di lingkungan terkait. Informasi yang baik dan tepat mengenai kualitas udara dan lingkungan merupakan kebutuhan masyarakat dan menjadi tolak ukur pengambilan keputusan dan tindakan penyelamatan lingkungan. Media dan teknik penyampaian kualitas udara yang kurang informatif menjadi pemicu rendahnya urjensi masyarakat terhadap kondisi lingkungan.

Kinerja sistem pengawasan oleh pihak-pihak terkait terhadap kualitas udara mengalami penurunan yang signifikan. Biaya pengadaan dan perawatan alat dan sensor yang cukup tinggi memicu rendahnya produktifitas sistem monitoring kualitas udara di Surabaya. Tidak lebih dari 6 titik sensor yang ditempatkan untuk mengawasi tingkat

kualitas udara di kota Surabaya yang memiliki luas wilayah hingga 375 kilometer persegi. Tidak seratus persen data yang diperoleh setiap setengah jam sekali dapat dikirimkan dengan baik ke pusat pengolahan data. Dari tahun ke tahun kinerja sistem pengawasan kualitas udara terus menurun. Pada tahun 2013, tercatat bahwa terdapat 4 perangkat sensor yang bisa berfungsi dengan baik dari 6 perangkat sensor yang aktif. Dan hanya terdapat 2 perangkat yang masih cukup fit untuk digunakan.

Buruknya sistem pengawasan kualitas udara kota semakin diperparah dengan media informasi tingkat kualitas udara yang kurang baik. Dari empat buah papan Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) yang tersebar di beberapa titik di Surabaya, hanya dua saja yang masih mampu menampilkan informasi kualitas udara berdasarkan ISPU setiap harinya. Berdasarkan keputusan kepala Badan Pengendalian Dampak Pencemaran Lingkungan Nomor 107 tahun 1997 mengenai Pedoman Teknis Perhitungan Dan Pelaporan Serta Informasi Indeks Standar Pencemaran Udara, informasi mengenai ISPU perlu diberikan dan diperbarui setiap pukul empat sore setiap hari. Kurang efektifnya penyampaian informasi mengenai ISPU menyebabkan kegagalan penerimaan informasi secara menyeluruh dan merata bagi masyarakat kota.

Penelitian mengenai pengembangan sistem pengawasan kualitas udara menggunakan perangkat sensor telah beberapa kali dilakukan. Sebagian besar<sup>[1][3][5][6]</sup> menitikberatkan pada partisipasi masyarakat dalam memberikan fasilitas seperti ruang untuk penggunaan perangkat sensor kualitas udara. Di

beberapa penelitian yang lain<sup>[1][5][6]</sup>, perangkat sensor mobile lebih diminati karena mampu merekam area yang lebih luas namun fleksibel. Pada setiap pekerjaan yang telah dilakukan, visualisasi data melalui web menjadi metode untuk menyampaikan informasi akhir kualitas udara. Banyak peneliti<sup>[1][2][6][8]</sup> yang menggunakan fasilitas peta online sumber terbuka untuk menjaga biaya pengembangan tetap rendah dan terjangkau.

Pada makalah ini, peneliti menyajikan desain dan hasil implementasi sistem monitoring kualitas udara kota Surabaya berbasis web dengan menggunakan perangkat sensor berbasis mikrokontroler. Peneliti hendak melakukan pendekatan terhadap solusi bagi mahalanya perangkat sensor kualitas udara melalui pengembangan perangkat sensor rendah biaya. Web dan jaringan internet menjadi media informasi dengan mempertimbangkan aspek biaya pengembangan, perawatan, dan aksesibilitas masyarakat terhadap informasi. Penduduk kota yang sebagian besar telah mengkonsumsi internet cukup lama menjadi target utama dari sistem monitoring kualitas udara berbasis web.

Selanjutnya peneliti melakukan evaluasi dan uji lapangan terhadap perangkat sensor yang dikembangkan. Pengujian meliputi hasil akuisisi sensor mengenai tingkat kualitas udara berdasarkan parameter masing-masing kadar gas dan polutan yang tercantum dalam Indeks Standar Pencemaran Udara. Tingkat keberhasilan pengiriman data dari perangkat sensor menuju pusat pengolahan data juga menjadi bagian dari evaluasi sistem. Di akhir pembahasan, biaya yang dibutuhkan untuk pengembangan

disampaikan secara detil untuk menguatkan argumen terhadap penggunaan sensor kualitas udara hemat biaya untuk melengkapi kinerja perangkat sensor yang telah diadakan oleh pemerintah.

## **2. METODE**

Dalam mengembangkan sistem monitoring dan peta visualisasi distribusi kualitas udara *Green Map*, tim menggunakan metode V Model dengan tahap pelaksanaan sebagai berikut.

### **2.1. Analisa Kebutuhan**

Tahap Requirement Analysis merupakan tahap untuk mengumpulkan spesifikasi kebutuhan masyarakat terhadap sistem aplikasi Green Map. Kebutuhan tersebut meliputi fitur-fitur yang harus disertakan pada tampilan peta. Keluaran dari tahap ini adalah dokumentasi kebutuhan pengguna. Acceptance Testing merupakan tahap yang akan mengkaji apakah dokumentasi yang dihasilkan tersebut dapat diterima oleh masyarakat atau tidak.

### **2.2. Desain Sistem dan Pengujian Sistem Secara Terpadu**

Dalam tahap ini sistem mulai dirancang dengan mengacu pada dokumentasi kebutuhan yang sudah dibuat pada tahap sebelumnya. Keluaran dari tahap ini adalah spesifikasi perangkat lunak yang meliputi organisasi sistem secara umum, struktur data, dan yang lain. Selain itu tahap ini juga menghasilkan contoh tampilan web dan juga dokumentasi teknik untuk pengembangan perangkat sensor.

### **2.3. Desain Arsitektur dan Pengujian Unit-unit Terintegrasi**

Pada tahap ini arsitektur dari sistem mulai dibuat. Dasar dari pemilihan arsitektur yang akan digunakan berdasar kepada beberapa hal seperti: pemakaian kembali tiap modul, ketergantungan tabel dalam basis data, hubungan antar antarmuka, serta detail teknologi yang dipakai.

### **2.4. Desain Modul dan Pengujian Unit**

Perancangan terhadap sistem dipecah menjadi modul-modul yang lebih kecil. Setiap modul tersebut diberi penjelasan yang cukup untuk memudahkan programmer dan desainer perangkat keras untuk melakukan coding dan implementasi desain. Tahap ini menghasilkan spesifikasi program baik untuk antarmuka online Green Map maupun perangkat sensor seperti: fungsi dan logika tiap modul, pesan kesalahan, proses input-output dan komunikasi untuk tiap modul, dan lain-lain.

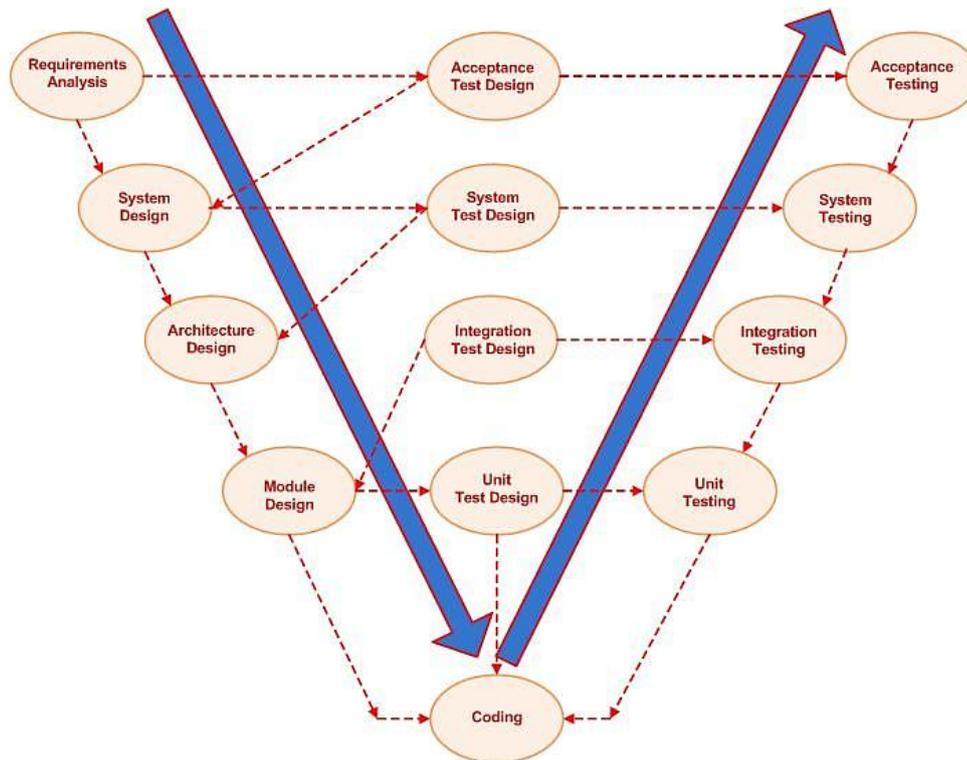
### **2.5. Implementasi**

Dalam tahap ini dilakukan pemrograman terhadap setiap modul perangkat lunak dan perangkat keras yang sudah dibentuk. Modul-modul yang telah terbentuk akan dikembalikan ke tahap unit testing yang mengacu kepada desain dari modul-modul tersebut. Modul yang telah lolos uji akan diuji dalam tahap Integration Testing. Tahap pengujian ini mengacu kepada desain arsitektur sistem yang telah dibangun sebelumnya. Integration Test akan dilanjutkan dengan System Test, yaitu pengujian terhadap sistem secara keseluruhan. Ini merupakan pengujian terakhir sebelum memperoleh

feedback dari masyarakat pada Acceptance Testing.

Model pengembangan V-Model adalah model yang sangat tepat dalam pengembangan sistem yang melibatkan perangkat lunak dan perangkat keras. Integrasi antara dua jenis perangkat ini

membutuhkan pengujian di masing-masing tahap agar hasil yang diperoleh akan sesuai dengan luaran yang direncanakan sebelumnya. Diagram alir di bawah ini menunjukkan hubungan antar tahap-tahap pada metode pelaksanaan yang telah diuraikan di atas.



Gambar 1. Metode *V Model* untuk Pengembangan Sistem

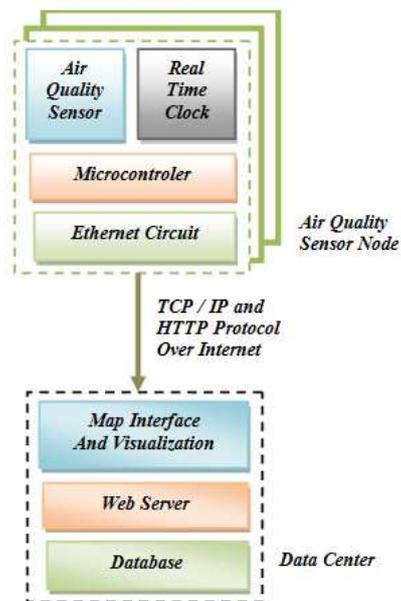
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Desain dan Arsitektur Sistem

Secara garis besar, arsitektur sistem terdiri dari perangkat sensor yang selanjutnya dapat disebut sebagai sensor node atau titik sensor, pusat data berupa web server dan database server, serta protokol komunikasi, yaitu HTTP dan TCP / IP. Gambar 2 menunjukkan hubungan antar komponen arsitektur sistem.

#### 3.1.1. *Sensor Node*

Bagian yang paling kritical dan penting dalam sistem adalah perangkat sensor untuk mengukur polutan di udara. Hal-hal yang menjadi tantangan peneliti mengenai perangkat sensor dapat dijelaskan secara padat dan singkat sebagai berikut.



Gambar 2. Arsitektur sistem monitoring kualitas udara ambien berbasis web dengan menggunakan perangkat sensor berbasis mikrokontroler.

**Platform komputasi:** Pemilihan kontroler sebagai platform komputasi harus tepat. Keterbatasan memori dan ruang instruksi program dapat menjadi kendala dan berpotensi menurunkan kinerja perangkat. Varian mikrokontroler ATmega menjadi kandidat yang cukup baik untuk digunakan sebagai platform komputasi. Berdasarkan keputusan Kepala Bapedal nomor 107 tahun 1997, pengukuran terhadap kadar sensor dilakukan setiap setengah jam sekali dan dilaporkan kepada pusat data. Jangka waktu setengah jam ini dapat terbilang cukup untuk ditangani oleh mikrokontroler ATmega yang memiliki kecepatan eksekusi hingga 16 juta instruksi per detik. Jumlah port IO dan pin dengan fitur ADC juga sudah sangat cukup untuk melakukan pembacaan tegangan analog yang muncul pada sensor. Biaya juga menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan platform komputasi. Terdapat beberapa jenis

mikrokontroler yang memiliki keunggulan yang lebih, namun biayanya juga tidak rendah. ATmega yang banyak dijumpai di Indonesia sangat didukung oleh biaya yang terjangkau, dengan harga rata-rata antara Rp. 35.000,- hingga Rp. 150.000,- saja untuk sebuah chip ATmega. Peneliti memutuskan ATmega sebagai platform komputasi yang rendah biaya namun cukup untuk menjalankan komputasi matematis sensor. Platform komputasi juga harus dilengkapi dengan kemampuan timer. Kemampuan ini akan memudahkan perangkat sensor untuk mengirim hasil pembacaan sensor secara terjadwal. Integrated circuit tambahan berupa real time clock dapat melengkapi ATmega untuk memiliki kemampuan ini.

**Tipe sensor yang digunakan:**

Perangkat hanya membutuhkan sensor yang mampu membaca kadar gas-gas tertentu sesuai dengan indikator standar pencemaran udara (ISPU) dan suhu serta kelembaban udara. Pada beberapa penelitian, sensor GPS sengaja ditambahkan untuk mewujudkan posisi sensor secara spesifik dan akurat. Penempatan sensor yang statis pada lokasi tertentu dapat diset secara manual pada pusat data tanpa membutuhkan sensor GPS. Peneliti menggunakan beberapa varian sensor MQ untuk membaca kadar gas-gas tertentu, MQ131 untuk gas Ozon dan NO, MQ7 untuk kadar gas karbon monoksida, DSM501a untuk kadar polutan PM10, dan TGS2601 untuk kadar gas Hidrogen Sulfida dan SO. Sementara untuk sensor suhu dan kelembaban udara, peneliti menggunakan salah satu varian sensor DHT, yaitu DHT11 yang memiliki kapabilitas untuk mengukur suhu dan kelembaban udara sekaligus. Tipe-tipe sensor yang telah disebutkan tersebut

memiliki biaya yang rendah namun rentang nilai pembacaan yang memadai.

**Portabilitas perangkat:** Aspek portabilitas menjadi keunggulan sensor dengan biaya rendah. Pemilihan platform komputasi berupa mikrokontroler dengan ukuran yang kecil juga dapat mengurangi ukuran keseluruhan perangkat. Dengan demikian tantangan portabilitas perangkat telah dijawab sekaligus dengan pertimbangan biaya yang serendah mungkin, namun tetap memperhatikan kualitas dan tujuan pengembangan sistem.

**Kompleksitas:** Kompleksitas terhadap perangkat keras cenderung terletak pada kemampuan perangkat dalam melakukan sinkronisasi terhadap beberapa pekerjaan yang berbeda. Pembacaan beberapa sensor, komputasi nilai sensor sesuai standar ISPU, hingga pengiriman data sensor di mana ketiga hal ini dilakukan dengan terjadwal adalah kompleksitas yang dimaksud. Kesalahan dalam sekuensial program dapat mengakibatkan kegagalan komputasi hingga kegagalan perangkat sensor yang dapat berujung pada kegagalan sistem. Peneliti mengembangkan dan mengevaluasi kode program secara detail dan mengeliminasi penyebab-penyebab kegagalan komputasi pada perangkat sensor.

**Kalibrasi sensor:** Sensor gas, khususnya untuk sensor MQ, membutuhkan kalibrasi pada udara bersih terlebih dahulu. Hal ini tentunya menyulitkan apabila diimplementasikan pada kondisi lingkungan secara riil. Konsentrasi udara bersih akan menghasilkan nilai resistansi internal sensor tertentu yang akan digunakan pada proses komputasi lebih lanjut. Melalui makalah ini, peneliti menyajikan hasil

komputasi nilai sensor yang diperoleh dengan parameter nilai resistansi internal sensor pada kondisi udara bersih adalah tetap. Pencuplikan nilai resistansi sensor dapat dilakukan dalam lingkungan dengan kondisi yang diasumsikan cukup bersih. Komputasi nilai sensor pada lingkungan yang berbeda diasumsikan menggunakan parameter hasil pencuplikan ini. Evaluasi terhadap hasil komputasi berdasarkan nilai resistansi internal yang tetap juga disajikan melalui makalah ini.

### 3.1.2. Protokol Komunikasi

Peneliti menggunakan protokol komunikasi internet yang populer, yaitu TCP / IP dan HTTP. Setiap setengah jam sekali, sesuai standar Badan Lingkungan Hidup, sensor mengirimkan data lima kadar polutan di udara dan nilai suhu dan kelembaban ambien pada lokasi titik sensor berada. Data-data ini dikirimkan menggunakan HTTP GET REQUEST menuju pusat data. Server selanjutnya akan mengirimkan respon standar protocol HTTP yaitu OK dengan kode 200 atau error dengan kode 50X. Ethernet shield terhubung dengan router 3G portable dengan sebuah modem GSM / CDMA yang menyediakan konektivitas internet. Kombinasi Ethernet dan router portable ini memberikan konektivitas internet tanpa batas selama perangkat sensor aktif. Komunikasi melalui protocol TCP / IP juga akan didukung dengan baik.

### 3.1.3. Pusat Data

Peneliti menggunakan web server sebagai pusat data dan database server untuk menyimpan riwayat data. Pusat data memberikan visualisasi terhadap data ISPU melalui tampilan peta. Persebaran tingkat kualitas udara di Surabaya dapat

dipahami dengan lebih baik melalui visualisasi yang baik. Pusat data mengenali paket data dari masing-masing sensor melalui ID yang disertakan dalam paket data yang dikirim oleh perangkat sensor. ID mewakili identitas dari masing-masing perangkat sensor, dan identitas tersebut unik. Identitas, serta posisi geografis lokasi peletakan sensor dimasukkan ke dalam basis data melalui antarmuka administrasi pada tampilan web pusat data.

### 3.2. Pemodelan dan Visualisasi Data

Model data dan teknik visualisasi merupakan komponen yang tidak dapat dipisahkan. Begitu web server menerima data dari sensor, melalui aplikasi php, web server harus mengklasifikasikan data ke dalam masing-masing jenis dan kategori. Selanjutnya data disimpan di dalam basis data dan digunakan dalam produksi model untuk visualisasi data.

```

{
  "type": "Feature",
  "id": 0,
  "properties": {
    "Status": "Sehat",
    "Index": "20",
    "Name": "Lakarsantri",
    "route_id": "1" },
  "geometry": {
    "type": "Polygon",
    "coordinates": [[
      [ 112.627077, -7.284094 ],
      [ 112.625703, -7.299759 ],
      [ 112.629136, -7.310656 ],
      [ 112.649049, -7.314061 ],
      [ 112.672738, -7.284434 ]
    ]
  ]
}

```

Gambar 3. Representasi area kecamatan Lakarsantri Surabaya menggunakan GeoJSON

Pemodelan data-data geografis diimplementasikan menggunakan GeoJSON. GeoJSON menyimpan objek-objek peta berupa titik atau area pada peta dengan properti tertentu seperti nama area, alamat, nilai kualitas udara, hingga posisi geografisnya. Model data

dalam format GeoJSON digunakan dengan baik pada beberapa pustaka dan template peta sumber terbuka seperti mapbox, leaflet, openstreetmap, dan googlemap. Gambar 3 menunjukkan representasi sebuah area salah satu kecamatan di Surabaya menggunakan GeoJSON.

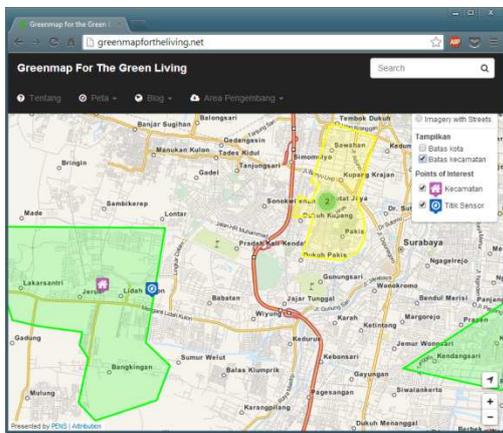
Titik-titik lokasi penempatan sensor juga menjadi salah satu informasi yang perlu diberikan kepada masyarakat melalui tampilan peta di web. Titik-titik tersebut juga direpresentasikan menggunakan GeoJSON dengan tipe Point untuk properti geografisnya. Tipe Point dan Polygon menentukan berapa banyak titik yang terdiri dari derajat lintang dan bujur posisi penempatan sensor atau area kecamatan. Tipe Polygon memperbolehkan pengembang untuk memberikan lebih dari satu titik latitude dan longitude yang akan ditampilkan sebagai area pada peta. Sebaliknya, tipe Point hanya mengijinkan sebuah titik latitude dan longitude saja dan akan digambarkan dengan marker pada peta.

#### 3.2.1. Choropleth Map

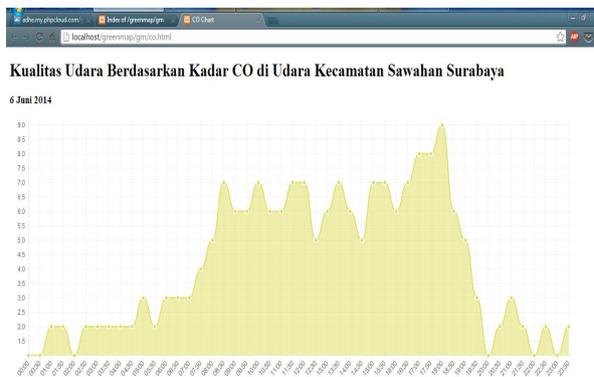
Choropleth map merupakan salah satu bentuk visualisasi data yang menggunakan polygon untuk membentuk area pada peta. Area-area tersebut dapat mewakili satuan area pada kota seperti kecamatan, atau kelurahan. Peneliti membangun choropleth map dengan menggunakan tipe properti polygon yang terdiri dari beberapa titik geografis pembentuk area pada peta. Gambar 4 menunjukkan polygon berwarna hijau dan kuning untuk kecamatan-kecamatan tertentu. Warna dapat merepresentasikan tingkat kualitas udara di area tersebut.

### 3.2.2. Marker

Untuk merepresentasikan titik-titik sensor, peneliti menggunakan marker. Gambar 4 menunjukkan dua jenis marker yang berbeda untuk menunjuk pada titik sensor dan area kecamatan. Kedua jenis marker diberikan kemampuan untuk menyajikan informasi lebih lanjut ketika marker tersebut diklik. Ini merupakan salah satu cara untuk meningkatkan aksesibilitas data oleh pengguna dan masyarakat.



(a)



(b)

Gambar 4. Visualisasi data dan segmentasi area kecamatan dengan (a) Choropleth Map, Marker, dan (b) Grafik Kualitas Udara

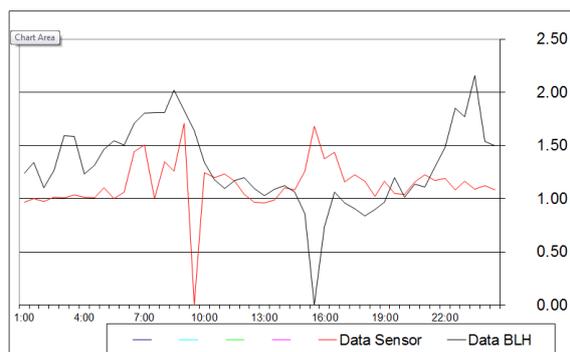
### 3.3. Hasil Pengujian Perangkat Sensor

Perangkat sensor diletakkan di ruang terbuka dengan kemasan semi tertutup. Terdapat lubang ventilasi yang diletakkan di bagian bawah sehingga udara dan partikel-partikel lain dapat masuk untuk dideteksi melalui sensor. Mikrokontroler dilindungi dengan kemasan akrilik tertutup di bagian atas. Peneliti merancang perangkat sensor menghadap ke bawah untuk menghindari air yang datang dari atas ketika hujan. Gambar 5 menunjukkan sensor-sensor yang digunakan serta penempatan mikrokontroler, router, dan adaptor power supply pada kemasan perangkat sensor.

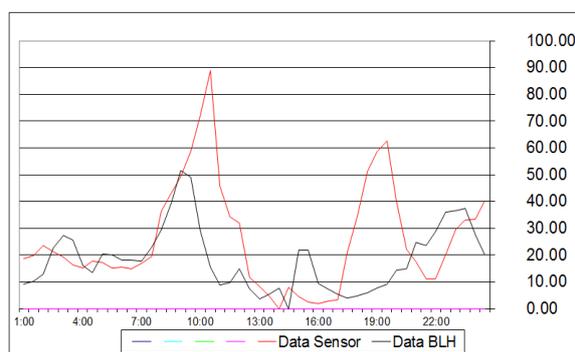


Gambar 5. Perangkat akuisisi kadar polutan di udara berbasis mikrokontroler: sensor yang digunakan (atas), kemasan perangkat sensor (tengah), dan rangkaian akuisisi sensor elektronik dengan mikrokontroler dan port ethernet (bawah).

Peneliti menempatkan perangkat sensor di luar ruangan dan melakukan sampling nilai kualitas udara berdasarkan kadar gas-gas tertentu selama 1 x 24 jam. Data dikirim menuju web server dan disimpan pada basis data setiap 30 menit. Selanjutnya peneliti membandingkan luaran untuk masing-masing sensor dengan laporan yang diperoleh dari Badan Lingkungan Hidup. Nilai puncak dan persebaran data selanjutnya akan menjadi bahan diskusi dan dievaluasi. Gambar 6 menunjukkan perbandingan hasil luaran sensor yang dibangun oleh peneliti dengan data aktual dari Badan Lingkungan Hidup satu tahun sebelum pengambilan data berlangsung.



(a)



(b)

Gambar 6. Perbandingan hasil pengukuran untuk kadar gas (a) CO, dan (b) NO<sub>2</sub> oleh perangkat sensor dengan laporan dari BLH.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian perangkat sensor pada lingkungan di luar ruangan secara langsung, perangkat sensor rendah biaya cukup baik dan siap digunakan dalam sistem pengendalian kualitas udara kota. Apabila pada penelitian sebelumnya<sup>[3]</sup>, sensor PM10 dengan biaya rendah belum dapat ditemukan, maka pada makalah ini peneliti menyajikan penggunaan DSM501a sebagai sensor PM10 biaya rendah dengan luaran data yang baik. Meskipun trend penurunan ditunjukkan pada grafik hasil pengujian sensor PM10, sensor PM10 rendah biaya yang peneliti gunakan masih menampilkan pergerakan data yang logis.

Visualisasi data yang digunakan oleh peneliti memang bukan merupakan hal yang baru. Penggunaan visualisasi data yang telah disajikan melalui makalah ini telah lazim digunakan pada sistem pengawasan kualitas udara. Namun media online seperti web yang dipadukan dengan visualisasi data yang baik dapat meningkatkan penyampaian informasi kepada masyarakat.

#### 5. REFERENSI

- [1] Vijay S., James C., Hu K., Luxan B. G. 2014. HazeWatch: A Participatory Sensor System for Monitoring Air Pollution in Sydney. *Journal of Electrical Engineering and Telecommunications*, UNSW, Sydney, Australia.
- [2] Khedo K., Perseedoss R., Mungur A. 2010. A Wireless Sensor Network Air Pollution Monitoring

- System. *International Journal of Wireless and Mobile Networks (IJWMN), Volume 2, No. 2, May.*
- [3] Rada E. C., dkk. 2012. Perspectives Of Low-Cost Sensors Adoption For Air Quality Monitoring”, *U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol. 74, Iss.*
- [4] Budde M., Busse M., Beigl M. 2012. Investigating the Use of Commodity Dust Sensors for the Embedded Measurement of Particulate Matter. *Karlsruhe Institute of Technology Journal, TECO / Pervasive Computing Systems*, Karlsruhe, Germany.
- [5] Devarakonda S., dkk. 2013. Real-time Air Quality Monitoring Through Mobile Sensing in Metropolitan Areas. *UrbComp'13, Chicago, Illinois, USA, August.*
- [6] Zappi P., Bales E., Park J. H., Griswold W. dan Rosing T. S. 2012. The CitiSense Air Quality Monitoring Mobile Sensor Node. *IPSN'12, Beijing, Cina, April.*
- [7] Asyakin S. 2012. Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kadar Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Dengan Komunikasi Data Menggunakan Modem GSM. *Makalah Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- [8] Febby. Sistem Akuisisi Data Nirkabel Untuk Pemantauan Kualitas Udara Menggunakan Teknologi Circuit Switch Data. *Thesis*, Magister Teknik Elektro, Universitas Gunadarma.
- [9] Sulaksono, Aprian T. Monitoring Kualitas Udara Berbasis Web. 2011. *Makalah Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- [10] Keputusan Kepala Bapedal No.107 Tahun 1997
- [11] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999