

SISTEM AKUISISI DATA SENSOR UNTUK EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DI GEDUNG DENGAN PENDEKATAN MODULAR DAN TERDISTRIBUSI

Alb. Agung Hadhiatma¹⁾, Tjendro²⁾, Agung Hernawan³⁾
Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi,
Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta
e-mail: agunghad@usd.ac.id¹⁾, tjendro@usd.ac.id²⁾, agung.h@usd.ac.id³⁾,

Abstrak

Manajemen bencana pada gedung merupakan hal yang perlu diperhatikan bagi pengelola gedung. Salah satu manajemen bencana kebakaran pada gedung adalah penentuan jalur penyelamatan keluar dari gedung. Guna mengurangi risiko terhadap bencana di gedung, penelitian ini mengusulkan sistem evakuasi penghuni dan pengunjung gedung terhadap bencana kebakaran. Sistem ini akan membantu penghuni gedung dalam menyelamatkan diri, dengan menghindari tempat yang berbahaya ataupun berisiko dan memilih jalur/tempat yang aman. Penentuan jalur evakuasi tergantung dari posisi letak titik-titik kebakaran dan posisi dari penghuni. Penentuan jalur evakuasi diolah oleh jejaring piranti *embedded*. Jejaring piranti *embedded* tersebut merepresentasikan peta titik/node dan jalur didalam suatu gedung. Masing-masing piranti *embedded* dilengkapi dengan sensor deteksi kebakaran dan layar TV/panel output.

Sistem akuisisi data dari sensor kebakaran, merupakan salah satu hal yang harus ditangani oleh sistem ini. Sensor-sensor kebakaran yang tersebar dalam sebuah gedung harus dihubungkan sedemikian rupa sehingga dapat memberikan informasi titik kebakaran secara detail. Tulisan ini dititikberatkan pada perancangan, pembuatan dan pengujian pada sistem akuisisi sensor yang dikembangkan, khususnya bagaimana mengintegrasikan sensor kebakaran, perangkat *embedded*

Key word : penentuan jalur evakuasi, piranti *embedded*, sitem multi-sensor

1. Pendahuluan

Salah satu manajemen bencana kebakaran pada gedung adalah bagaimana menentukan jalur penyelamatan keluar dari gedung^[1]. Ketika bencana kebakaran terjadi, penghuni maupun pengunjung gedung tidak tahu dimana posisi api. Akibatnya apabila penghuni memilih jalan yang salah dalam penyelamatan diri, pengunjung dapat mendekati titik api dan akhirnya tidak bisa keluar, terjebak di dalam gedung. Biasanya pengunjung tidak mengetahui atau memperhatikan denah ruang, pintu darurat, dan pintu keluar. Meskipun penghuni sudah diberi pelatihan, kadangkala penghuni gedung mempunyai kecenderungan untuk menjadi bingung dan tidak bisa berpikir dalam menyelamatkan dirinya sendiri^{[2][3]}. Bencana adalah sesuatu yang tidak dapat dihindari akan tetapi dapat diminimalkan tingkat kerugian maupun korbannya. Resiko korban dapat dihilangkan atau dikurangi dengan jalan memberikan informasi yang tepat pada pengunjung ketika bencana terjadi^[4].

Penelitian ini mengusulkan sistem evakuasi penghuni dan pengunjung gedung terhadap bencana kebakaran. Sistem ini akan membantu penghuni gedung dalam menyelamatkan diri, dengan menghindari tempat yang berbahaya ataupun berisiko dan memilih jalur/tempat

yang aman. Sistem evakuasi juga akan menunjukkan tempat untuk keluar dari gedung secara cepat dan aman. Penentuan jalur evakuasi tergantung dari posisi letak titik-titik kebakaran dan posisi dari penghuni, serta jalur yang tersedia menuju titik aman. Untuk posisi yang berbeda, setiap penghuni gedung dapat mendapatkan jalur/peta penyelamatan yang berbeda.

Berdasarkan kegiatan survey yang telah dilakukan dalam penelitian ini, biasanya sebuah gedung mempunyai alarm dan sensor kebakaran^[4]. Pada beberapa gedung sudah terdapat layar TV yang berfungsi sebagai hiburan atau media iklan yang sudah terpasang. Pada penelitian ini panel informasi (layar TV) dan sensor kebakaran (alarm kebakaran) yang sudah terdapat pada suatu gedung, akan diintegrasikan dengan teknologi *embedded system*. Piranti *embedded* tersebut dirancang untuk terhubung satu sama lain dalam satu jaringan yang disebut jaringan berbasis piranti *embedded*. Piranti *embedded* dalam jaringan tersebut dianggap sebagai sebuah *node*, dan hubungan antar piranti dianggap sebagai sebuah *edge*. Jejaring piranti *embedded* tersebut merepresentasikan peta *node* dan *edge* di dalam suatu gedung. Masing-masing piranti *embedded* dilengkapi dengan sensor dan layar TV. Bila didalam suatu gedung tidak terdapat layar TV dapat diganti dengan piranti

output yang lain. Lewat jaringan piranti *embedded system*, terjadi pertukaran informasi mengenai lokasi bahaya api. Kebakaran di suatu lokasi pada gedung akan dideteksi oleh suatu sensor kebakaran. Informasi kebakaran pada suatu lokasi akan di *broadcast* oleh piranti *embedded/node* terdekat ke semua *node* yang lain. Pada jaringan *embedded* akan terjadi pertukaran informasi mengenai lokasi terjadinya kebakaran. Informasi tersebut dapat diperbarui secara *real time*. Pertukaran informasi dilakukan dengan memanfaatkan protokol *routing*. Setelah semua *node* mengetahui/memetakan lokasi terjadinya kebakaran, *node* dan *edge* tersebut akan membentuk sebuah jalur evakuasi yang akan menginformasikan kepada pengunjung titik-titik mana yang merupakan jalur aman untuk menuju pintu keluar. Informasi/ petunjuk evakuasi masing masing titik diinformasikan dalam panel TV.

Protokol *routing* untuk jaringan internet ini dimodifikasi dan diadopsi untuk tujuan penentuan jalur evakuasi secara dinamis, dengan mengadopsi protokol *routing* pada jaringan internet. Pada jaringan internet protokol *routing* menentukan jalur yang akan dilewati oleh paket data dalam komunikasi internet^[5]. *Routing* merupakan proses pencarian jalur untuk memindahkan paket informasi dari sumber ke tujuan dalam sebuah jaringan komputer yang dilakukan secara dinamis dan *real time*.

Informasi penentuan rute pada evakuasi bencana kebakaran dipilih menggunakan *routing* dinamis karena rute atau peta jalur dapat berubah menyesuaikan kondisi di lapangan. Kondisi di lapangan menuntut sistem harus dapat menangani perubahan informasi yang dinamis mengenai putusnya suatu jalur akibat terjadinya bencana. Jalur dimana terjadi kebakaran ataupun titik api diasumsikan jalur tersebut terputus/tidak dapat dilewati. Informasi yang terbaru mengenai peta jalur secara dinamis akan selalu di-*update* dan digunakan untuk menentukan jalur penyelamatan secara dinamis.

Adopsi *routing* tersebut telah selesai dibuat pada penelitian sebelumnya. Namun bagaimana perangkat sensor dapat memberikan informasi ke sistem *embedded* perlu dikembangkan agar sistem evakuasi bencana kebakaran dalam gedung dapat diimplementasikan. Tulisan ini menitik beratkan pada perancangan dan implementasi serta analisa perangkat jejaring *embedded* yang terkait dengan masalah akuisisi data dari sensor kebakaran dan proses komunikasinya. Sistem yang dikembangkan dibuat sedemikian rupa sehingga mampu memberikan lokasi informasi kebakaran secara detail. Informasi detail dibutuhkan agar sistem dapat memberikan jalur evakuasi terbaik, sesuai dengan algoritma dan protokol komunikasi yang dikembangkan pada penelitian sebelumnya.

Dari survey di lapangan menunjukkan bahwa beberapa gedung sudah dilengkapi dengan sensor-sensor pemadam kebakaran. Biasanya sensor-sensor tersebut jumlah terbatas dan dikendalikan dalam sebuah kontrol yang terpusat. Hal ini akan menyulitkan untuk mengetahui titik mana yang terjadi kebakaran. Lokasi

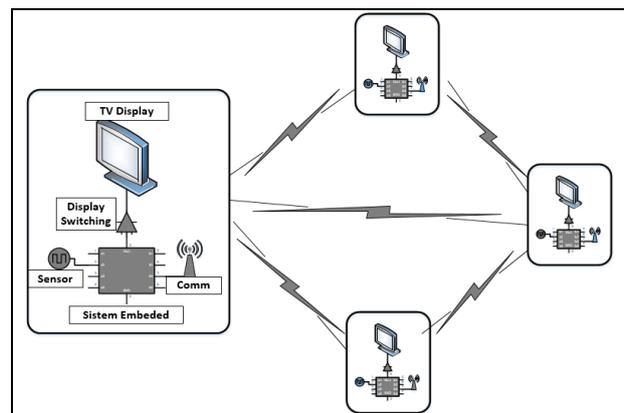
terjadi kebakaran hanya bisa diketahui oleh pusat kontrol. Kelemahan lain, ketika untuk jumlah sensor yang banyak, sensor-sensor tersebut digabungkan dalam bentuk kelompok-kelompok. Hal ini akan menyulitkan bagi sistem untuk memperoleh informasi lokasi kebakaran secara detail. Untuk itu akan dirancang sebuah sistem akuisisi dari sensor-sensor kebakaran yang secara fleksibel dihubungkan dengan sistem sensor yang sudah ada. Namun jika sistem sensor belum ada, penelitian ini juga menawarkan sistem akuisisi cocok dengan kebutuhan sistem evakuasi bencana yang dikembangkan pada penelitian sebelumnya.

Informasi-informasi tadi akan diolah oleh sistem evakuasi bencana kebakaran, sehingga dapat memberikan selanjutnya ditampilkan layar penampil. Pada gedung-gedung biasanya sudah ada layar penampil, yang biasanya dalam bentuk pesawat TV. Oleh sebab itu diperlukan rancangan agar sistem *embeded* yang dikembangkan dapat menginterupsi tayangan TV untuk digantikan menjadi informasi jalur evakuasi bencana.

Dari dua permasalahan di atas, berarti pada sebuah titik sistem evakuasi bencana kebakaran yang dikembangkan harus mampu menangani sejumlah sensor dan dapat menampilkan informasi pada sebuah pesawat TV. Sistem sensor yang ditangani sifatnya tersebar di beberapa titik, agar dapat mengetahui detail lokasi kebakaran.

Berbeda dengan sistem sensor kebakaran biasanya dikendalikan secara terpusat, yang informasi detailnya hanya diketahui oleh pusat, penelitian ini melakukan pendekatan yang berbeda. Pada tulisan ini akan ditunjukkan sistem akuisisi sensor dan sebuah penampil informasi yang dirancang dengan pengendali yang terdistribusi dalam bentuk yang modular. Sistem ini akan mempermudah dalam pengembangan, dan perawatan sistem serta diharapkan akan meningkatkan kehandalan.

2. Metodologi



Gambar 1. Arsitektur Jejaring Sistem *Embedded*

Untuk mengatasi penanganan evakuasi bencana penelitian ini menawarkan sistem yang lebih murah. Secara umum perancangan sistem terdiri dari perancangan perangkat keras, perancangan protokol dan

perancangan algoritma. Perancangan perangkat keras merupakan perancangan jejaring sistem *embedded*. Jejaring sistem *embedded* yang dibuat mempunyai arsitektur seperti pada gambar 1.

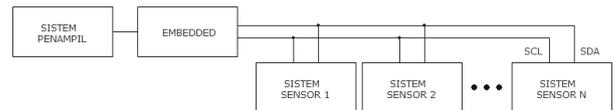
Secara umum penelitian terdiri dua hal, yaitu yang terkait dengan perangkat keras dan perangkat lunak yang melibatkan protokol komunikasi dan algoritma pencarian jalur evakuasi.

1. Perancangan sistem perangkat keras yang terdiri dari perancangan:
 - Sensor deteksi kebakaran yang tersebar di beberapa titik, untuk diintegrasikan pada sistem yang dirancang secara modular.
 - Implementasi switcing relay yang menghubungkan sistem *embedded* dan layar monitor. Switcing relay ini secara otomatis akan menghubungkan layar monitor TV ke sistem *embedded*. Layar TV digunakan untuk memberitakan kepada pengunjung arah/rute jalur evakuasi.
2. Simulasi program evakuasi bencana berbasis jaringan komputer. Instalasi ini membutuhkan instalasi jaringan dan pemrograman jaringan. Pemrograman jaringan menggunakan protokol *routing* dan algoritma pencarian rute terpendek. Protokol *routing* adalah protokol yang mengatur bagaimana masing-masing *node* saling mengenal satu-sama lain dan saling memberi informasi mengenai status putusnya jalur atau *node*. Informasi tersebut dibutuhkan untuk membentuk topologi *graph* yang akan digunakan dalam proses penentuan jalur^[7]. Secara umum proses simulasi tersebut meliputi
 - *Flooding* : Proses pengenalan dan identifikasi masing-masing titik dan jalur dalam jaringan *embedded* untuk pembentukan tabel *routing*
 - *Komputasi* : Proses komputasi penentuan jalur
 - *Update* : Proses komputasi dinamis untuk perubahan tabel *routing* dan perubahan jalur evakuasi

Pengembangan algoritma pencarian jalur evakuasi dan pengembangan protokol komunikasi antar sistem *embedded* telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Hasil penelitian tersebut juga sudah dipublikasikan^{[6][7]}. Oleh karena ini, penelitian ini menitik beratkan pada pengintegrasian sistem *multi-sensor* ke dalam sistem yang telah dikembangkan sebelumnya.

3. Perancangan

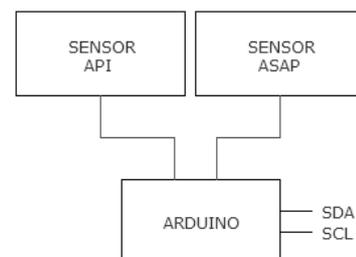
Rancangan umum dari sistem dapat dilihat pada gambar 2. Sistem terdiri dari sebuah perangkat keras yang mampu menjalankan algoritma pencarian jalur evakuasi dan mampu berkomunikasi satu dengan yang lain dengan protokol komunikasi yang dikembangkan pada penelitian sebelumnya. Perangkat keras ini juga harus mampu menerima informasi dari sekelompok sensor kebakaran dan menampilkan informasi jalur evakuasi. Perangkat keras harus mempunyai ukuran yang kecil sehingga hemat tempat dan konsumsi daya.



Gambar 2. Blok Sistem *Embedded*

Perangkat keras yang memenuhi kriteria tersebut adalah Raspberry Pi. Perangkat ini relatif kecil dan murah, namun mempunyai kemampuan komputasi dan komunikasi layaknya sebuah komputer. Perangkat ini juga mempunyai keluaran ke layar penampil, namun perlu modifikasi agar dapat bergantian menampilkan informasi lain ke dalam sebuah pesawat TV. Raspberry Pi juga mempunyai piranti masukan untuk menangani isyarat digital, namun jumlah masukan tersebut jumlahnya terbatas^[8]. Hal ini menjadi masalah karena jumlah sensor yang harus ditangani banyak dan lokasinya tersebar. Salah satu sifat sensor adalah keluaran arus listrik yang kecil. Arus listrik yang kecil menyebabkan terbatasnya komunikasi antara sensor dan sistem pengendali, dimana jaraknya tidak boleh berjauhan.

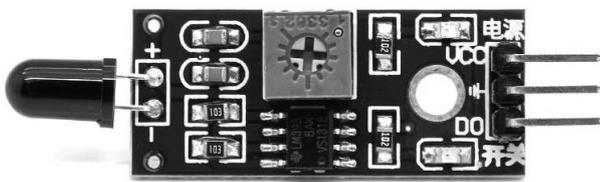
Oleh karena itu, dibutuhkan perangkat keras lain yang mampu untuk menerima isyarat dari sensor-sensor kebakaran. Perangkat ini juga harus mampu menangani sensor dalam jumlah banyak, jaraknya tidak boleh terlalu jauh dari sensor, dan harus mampu berkomunikasi dengan Raspberry Pi. Ukuran dan konsumsi daya yang kecil juga menjadi bahan pertimbangan. Salah satu perangkat keras yang memenuhi kriteria ini adalah Arduino^[9]. Arduino akan menjadi perangkat utama dalam sistem sensor yang dikembangkan. Penelitian ini mengusulkan blok diagram untuk sistem sensor yang dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Blok Sistem Sensor

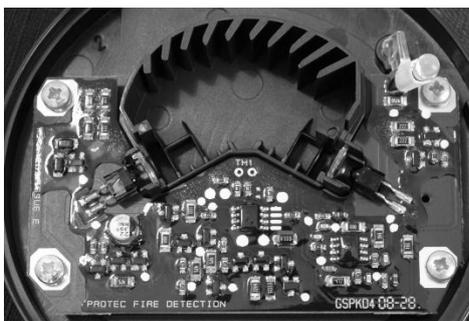
4. Implementasi Sistem Sensor

Sebuah sistem sensor terdiri atas mikrokontroler, sensor kebakaran, dan sensor asap. Sistem ini dapat mendeteksi kebakaran pada lokasi dan luasan area tertentu. Sensor pendeteksi kebakaran menggunakan modul inframerah seperti gambar 4. Modul ini sensitif terhadap api dan spektrum dasar api. Cara kerja sistem sensor adalah dengan mendeteksi panjang gelombang cahaya antara 760nm-1100nm yang merupakan spektrum inframerah. Sensor ini mempunyai jangkauan deteksi hampir 3 m dan lebar deteksi sudut 60° cukup untuk memantau area satu kamar. Namun tentu saja diperlukan sejumlah sensor untuk memantau sebuah gedung yang besar. Sensitivitas diatur menggunakan potensiometer pada modul tersebut sehingga menghasilkan keluaran berupa tanda adanya kebakaran



Gambar 4. Modul Sensor Api dengan Infra Merah^[10]

Oleh karena itu, sensor api biasanya dilengkapi juga dengan sensor asap untuk mendeteksi adanya kebakaran. Seperti dijelaskan di atas, sensor api mempunyai kelemahan pada luasan area yang dipantau. Ada kemungkinan ketika terjadi kebakaran, titik api tidak dapat terpantau oleh sensor api. Ketika api tidak dapat dideteksi oleh sensor api, maka asap yang dihasilkan oleh kebakaran, diharapkan akan dapat dipantau oleh sensor asap. Gambar sensor asap dapat dilihat pada gambar 5

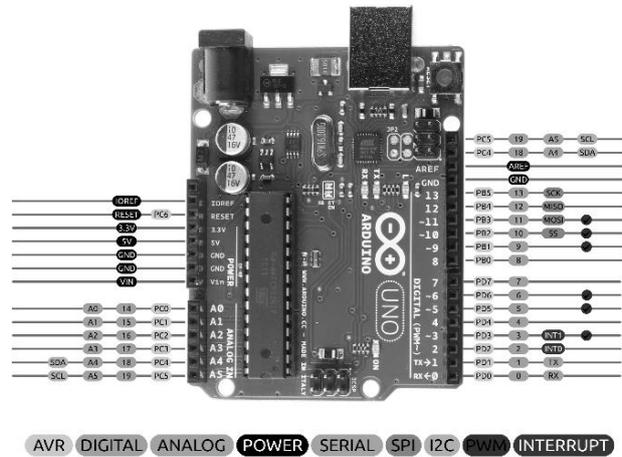


Gambar 5. Modul Sensor Asap^[11]

Keluaran daya dari kedua sensor tersebut biasanya relatif kecil, sehingga informasi keluaran dari sensor tersebut tidak memungkinkan untuk dikirimkan ke piranti yang jaraknya jauh. Untuk itu biasanya disamping sensor juga dibutuhkan sebuah mikrokontroler yang berfungsi untuk mengolah isyarat dan mengkomunikasikan dengan perangkat pengendali lain. Arduino mampu menerima masukan sejumlah sensor dan mengolahnya menjadi sebuah informasi kebakaran. Selanjutnya Arduino akan mengkomunikasikan dengan perangkat yang lain dengan jarak yang jauh. Informasi yang diberikan berisi informasi detail seperti lokasi dan kondisi sensor jadi

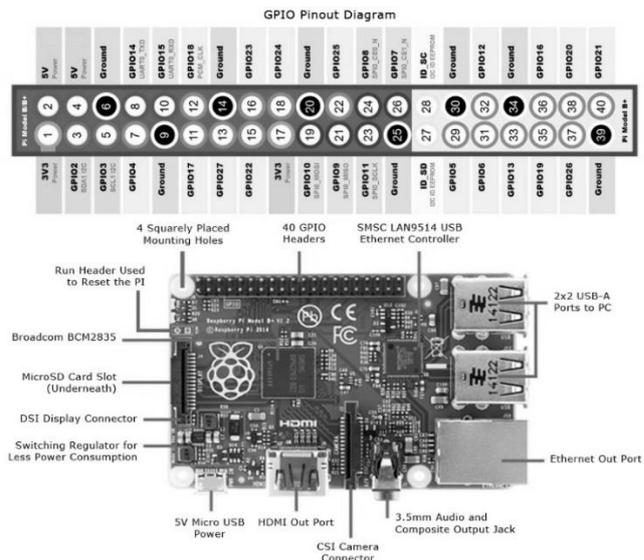
bukan hanya sebuah rangkuman informasi dari kondisi sensor.

Arduino Uno R3 Pinout



Gambar 6. Arduino Pin Out

Komunikasi data dikirimkan secara serial dan dapat dilakukan melalui media kabel maupun nir-kabel. Komunikasi nirkabel membutuhkan piranti tambahan (modul komunikasi nirkabel). Mode komunikasi serial yang dapat ditangani adalah *universal asynchronous receiver/transmitter* (UART) dengan konektor RS232 atau RS485 dan *Inter-Integrated Circuit* (I2C) yang hanya membutuhkan 2 kabel. Protokol UART secara umum lebih mudah dan sederhana untuk ditangani, tapi harus menambahkan rangkaian RS232/ RS485 untuk dapat berkomunikasi jarak jauh. RS232 dipakai untuk komunikasi point to point, sedang RS485 untuk dapat digunakan untuk komunikasi multi point.



Gambar 7. Raspberry Pi Pin Out

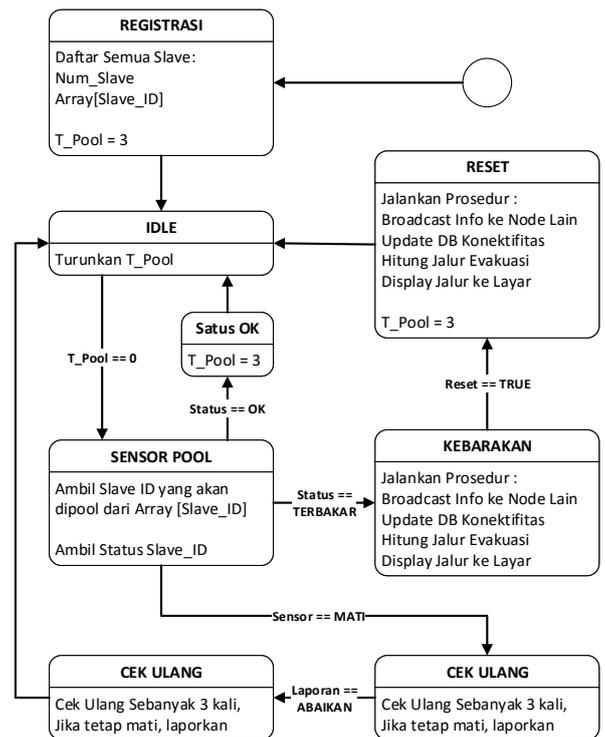
Komunikasi I2C dipilih untuk diimplementasikan pada penelitian ini karena pengkabelan yang lebih sederhana, handal, mudah pengembangan dan perawatan. I2C merupakan mode komunikasi serial yang lebih modern.

I2C hanya menggunakan 2 kabel. Secara perangkat keras hanya dibutuhkan tambahan resistor pull up. Namun secara teknis komunikasi I2C memerlukan penanganan yang lebih kompleks dibanding dengan UART. Pada I2C komunikasi dilakukan melalui pin SDA (*Serial Data Line*) dan SCL (*Serial clock line*) pada Arduino dengan pin SDA dan SCL pada Raspberry (lihat gambar 7 dan 8). SCL dipakai untuk mengirimkan isyarat clock yang digunakan untuk sinkronisasi. SDA digunakan untuk mengirimkan informasi secara serial dari satu perangkat ke perangkat yang lain. Kabel yang dipakai untuk komunikasi ini tidak membutuhkan spesifikasi khusus, hal ini membuat mudah dalam implementasinya.

Komunikasi dengan memanfaatkan satu saluran yang dipakai oleh banyak piranti untuk berkomunikasi, memerlukan pengaturan yang seksama. Tanpa pengaturan yang tepat, memungkinkan beberapa pihak akan mengirimkan informasi secara bersamaan yang mengakibatkan terjadinya tabrakan (*collision*) dan informasi yang dikirim menjadi sia-sia. Ada beberapa pola pengendalian tabrakan. Salah satunya dengan cara mengadopsi protokol *Carrier Sense Multiple Access (CSMA)* komunikasi pada kabel Ethernet yang banyak diterapkan di Internet. Protokol komunikasi CSMA mempunyai kelebihan dalam hal pemanfaatan kanal komunikasi, namun kurang baik dalam hal memberikan kesempatan bagi setiap pihak yang berkomunikasi secara adil. Pada CSMA ada kemungkinan salah satu mendominasi sementara pihak tidak mendapat kesempatan. Oleh karena ini sistem ini tidak cocok untuk diterapkan^[12].

Protokol komunikasi lain untuk menghindari tabrakan adalah sistem komunikasi dengan sistem berurutan (*pooling*). Pada komunikasi ini ada salah satu pihak yang bertindak sebagai pengendali jalannya komunikasi. Pengendali akan memberikan kesempatan bagi seluruh pihak secara merata kepada semua pihak yang terlibat pada sistem. Sifat dari protokol ini berkebalikan dengan protokol CSMA. Keadilan dalam kesempatan lebih diutamakan dibanding dengan pemanfaatan kapasitas kanal^[12].

Melihat dari sifat masing-masing protokol, maka pada sistem yang dikembangkan kami memilih pola komunikasi dengan sistem *pooling*. Pada sistem yang dikembangkan Raspberry Pi akan bertindak sebagai pengendali. Raspberry Pi secara periodik akan meminta laporan kondisi sistem sensor secara bergantian. Sistem sensor yang mendapat kesempatan akan meresponnya dan memberikan data status terakhirnya. Kecilnya data yang dikirimkan oleh sensor dibanding dengan kapasitas kanal komunikasi, memungkinkan waktu kirim data yang singkat. Hal ini akan menjamin proses *pooling* dari satu alat ke alat lain yang sangat cepat. Kecepatan ini penting karena sistem harus menjamin bila ada suatu kejadian kebakaran di satu titik, akan cepat ditanggapi oleh sistem tanpa terlalu lama menunggu giliran pada alat tersebut.



Gambar 8. State Diagram Sitem

5. Pembahasan

Disain *master slave* yang dibangun dengan sistem protokol komunikasi *pooling* bertujuan untuk menghindari tabrakan pada komunikasi serial. Setelah diimplementasikan dan diujicobakan dengan menggunakan sistem *pooling*, ternyata ketika user harus menambahkan sebuah sistem sensor kedalam sistem *embedded*, user harus melakukan proses registrasi pengalamanan sensor ke pengendali, yaitu Raspberry Pi. Hal ini akan menjadi tidak efisien karena user harus merubah konfigurasi secara manual.

Masalah tersebut diatas, dapat diatasi dengan cara menambahkan kemampuan *master slave* untuk menangani registrasi secara otomatis. *Master* akan secara otomatis mendekteksi bila ada penambahan *slave*. Untuk itu paa saat *slave* pertamakali masuk ke dalam sistem, *slave* akan memperkenalkan diri. Langkah selanjutnya adalah *master* meregistrasi. Setelah *slave* ter-registrasi sistem *pooling* kembali berjalan.

Resiko pada saat *slave* memperkenalkan diri, ada kemungkinan datanya tabrakan dengan sistem *pooling* yang sedang berjalan. Oleh karena itu, bila sistem akan menggunakan registrasi secara otomatis, perancangan harus memperhatikan tabrakan pada saat *slave* akan masuk untuk memperkenalkan dirinya untuk didaftarkan secara otomatis. Hal ini dapat menjadi pertimbangan untuk penelitian selanjutnya dimana sistem *slave* dapat melakukan auto registrasi dengan mempertimbangkan masalah tabrakan.

Hal lain yang perlu diperhatikan pada komunikasi data dengan I2C adalah tipe kabel yang dipakai. Tipe kabel akan mempengaruhi jarak antara dua sistem embedded dan sistem sensor. Selain itu tipe kabel juga mempengaruhi kecepatan transfer data. Pada penelitian ini kecepatan tidak terlalu masalah karena data yang dikirimkan oleh sensor relatif kecil, hanya beberapa byte data. Pada sistem yang dikembangkan Raspberry Pi sebagai pengendali akan mengirimkan data berupa alamat dari sistem sensor dipanggil. Arduino sebagai slave akan memberi jawaban berupa status dari sistem sensor.

Kabel yang dapat memberikan jangkauan yang panjang adalah kabel UTP (*unshielded twisted pair*) kategori 5E. Kabel ini memang dirancang untuk komunikasi data dan biasa dipakai untuk menghubungkan komputer dalam sebuah jaringan. Jangkauan akan bertambah ketika dipakai kategori yang lebih tinggi atau dengan memanfaatkan tipe kabel yang lebih baik yaitu STP (*shielded twisted pair*). STP mempunyai pelindung sehingga dapat menekan pengaruh gangguan, maka jangkauan yang didapat akan lebih panjang. Namun pemakaian kabel UTP atau STP adalah semacam pemborosan, karena kabel ini adalah berisi 4 pasang kabel, padahal yang dibutuhkan hanya 1 pasang saja, oleh karena itu perlu dicoba beberapa kabel dengan tipe yang lebih sederhana, namun mempunyai jangkauan yang mencukupi.

6. Kesimpulan

Sistem *multi-sensor* yang dikembangkan secara modular dalam konfigurasi *master slave*, dimana sistem *embedded* sebagai pengendali dan sistem sensor sebagai *slave*, dapat meningkatkan kemudahan pengembangan (*scaleable*). Hal ini juga memudahkan dalam hal perawatan dan kehandalan sistem.

Kelemahan sistem ini *slave* belum dapat melakukan proses registrasi secara otomatis. Hal ini menyulitkan pada waktu setup alat dan penambahan *slave*, karena harus melakukan secara manual.

Daftar Pustaka

- [1] E.L. Chao and J.L. Henshaw, "How to Plan for Workplace Emergencies and Evacuations", OSHA 3088. 2001.
- [2] R.F. Fahy and G. Proulx, "Panic and human behaviour in fire", *Proceedings of the 4 th International Symposium on Human Behaviour in Fire*, Robinson College, Cambridge, UK, July 13 2009, pp.387-398.
- [3] E.D. Kuligowski, "The Process of Human Behaviour in Fires", *Fire Research Division Building and Fire Research Laboratory*, National Institute of Standards and Technology Technology, Technical Note 1632. May 2009, Natl.Inst.Stand.Technol.Tech. Note 1632,15 pages CODEN:NSPUE.
- [4] A. Filippoulitis, G. Loukas and S. Stelios Timothou, "Emergency Response Systems for Disaster Management in Buildings", *Intelligent Systems and Networks Group Dept*, of Electrical Electronic Engineering Imperial College, London. 2009.
- [5] B. Halabi, *Internet Routing Architectures* Second edition, Cisco Press, 2000.

- [6] Alb.A. Hadhiatma, "Penentuan Jalur Evakuasi Bencana Kebakaran Di Gedung Menggunakan Algoritma Jalur Jamak", Konferensi Nasional Sistem & Informatika (KNS&I), STIKOM Bali, pada tanggal 9-10 Oktober 2015
- [7] A. Hernawan, "Adopsi Protokol Routing Dinamis Untuk Penentuan Jalur Evakuasi Bencana", Seminar Nasional Teknologi Komputer (SENATKOM), APTIKOM - Universitas Putra Indonesia YPTK Padang, Oktober 2015.
- [8] Raspberry Pi, "Raspberry Pi Learning Resource : Hardware System", <https://www.raspberrypi.org/learning/hardware-guide/components/raspberry-pi/>, diakses Agustus 2016
- [9] Arduino, "Introduction Arduino System", <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>, diakses Agustus 2016
- [10] -, "Arduino Compatible IR Infrared Flame Sensor Module Specification", <https://www.fasttech.com/product/1506500-arduino-compatible-ir-infrared-flame-sensor-module>, diakses Agustus 2016
- [11] Brazzell, D. "The Effects of High Air Velocity and Complex Airflow Patterns on Smoke Detector Performance", AFCOM8-21, AFCOM-Miami, 2009
- [12] W. Stallings, *Data and Computer Communication*, Pearson Education Inc, Prentice-Hall, 2011