

## APLIKASI SENSOR *PASSIVE INFRARED* (PIR) UNTUK PENDETEKSIAN MAKHLUK HIDUP DALAM RUANG

**Bustanul Arifin**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung  
Jl. Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp (024) 6583584  
Email: bustanul@unissula.ac.id

### Abstrak

*Keamanan menjadi faktor utama dalam kehidupan manusia. Ada beberapa alat atau sensor yang dapat dimanfaatkan untuk menjaga keamanan tempat tinggal. Salah satunya adalah sensor gerak yang menggunakan inframerah secara pasif atau yang lebih dikenal dengan PIR (Passive Infra Red). Alat ini akan mendeteksi gelombang inframerah yang ditimbulkan oleh makhluk hidup yang berada dalam jangkauannya dan akan mengeluarkan suatu output yang dapat dimanfaatkan. Dalam penelitian ini diteliti bagaimana cakupan pendeteksian sensor, posisi sensor yang dapat menjangkau cakupan terluas, serta makhluk hidup atau benda apa saja yang bisa dideteksi oleh sensor ini. Berdasarkan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Mikroprosesor Teknik Elektro Unissula dengan menggunakan 4 buah sensor PIR KC7783R didapatkan hasil bahwa sensor dapat menjangkau cakupan terluas ketika diletakkan diketinggian 200 cm dari lantai dengan sudut kemiringan  $75^{\circ}$ . Jarak 500 cm merupakan titik terjauh untuk mendeteksi manusia, sedangkan untuk mendeteksi tikus maksimal 180 cm, kucing 230 cm dan nyala api lilin 210 cm. Perubahan suhu udara di laboratorium senilai  $22^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $31^{\circ}\text{C}$  tidak berpengaruh secara signifikan terhadap pendeteksian sensor.*

*Kata kunci: sensor PIR, sudut kemiringan sensor, suhu*

### 1. PENDAHULUAN

Sebagai tempat tinggal seseorang tentu didalamnya terdapat banyak sekali barang yang harus dijaga keamanannya. Salah satu alat elektronik yang banyak digunakan dewasa ini adalah CCTV (*Closed-Circuit Television*). Tetapi bagi kalangan tertentu tidak semua orang dapat memanfaatkan piranti ini dikarenakan harga yang masih relatif mahal. Disamping itu dari sisi manfaat juga tidak semua tempat/rumah yang memerlukan alat secanggih CCTV dalam menjaga keamanan.

Sensor gerak yang menggunakan infra merah secara pasif atau yang lebih dikenal dengan PIR (*Passive Infra Red*) dapat dimanfaatkan untuk keamanan. Alat ini akan mendeteksi gelombang infra merah yang ditimbulkan oleh makhluk hidup yang berada dalam jangkauannya dan akan mengeluarkan suatu output yang dapat dimanfaatkan. Dalam penelitian ini akan diteliti bagaimana cakupan pendeteksian sensor ini dan makhluk hidup atau benda apa saja yang bisa dideteksi oleh sensor ini. Penelitian akan diterapkan pada sebuah ruang laboratorium mikroprosesor Teknik Elektro Unissula agar terlihat jelas kemanfaatannya.

Dalam penelitiannya, Gifson (2009) menggunakan sensor *Passive Infrared* (PIR) yang berbasis mikrokontroler AT89S52 untuk sistem keamanan suatu ruang. Keluaran dari alat ini adalah berupa alarm yang digunakan untuk peringatan bahwa suatu ruang yang telah dilengkapi dengan sensor ini telah dimasuki oleh seseorang. Penelitian tersebut menggunakan satu buah sensor yang telah terpasang ke motor stepper. Motor stepper selalu bergerak untuk mencari dan mendeteksi keberadaan manusia. Mikrokontroler akan menghentikan gerakannya jika sensor mendeteksi sebuah gangguan.

Penggunaan sensor inframerah pasif untuk mendeteksi gerakan tiga orang lanjut usia di sebuah panti wreda dilakukan oleh Suzuki dan kawan-kawan (2006). Dalam penelitian tersebut berhasil dideteksi kegiatan manula setiap hari selama tujuh hari. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pola hidup mereka. Pemasangan sensor diletakkan di langit-langit rumah tersebut.

Wojtczuk (2011) dalam penelitiannya menggunakan sensor PIR untuk mengenali pola tangan yang melewatinya. Berbeda dengan penelitian yang lain, penelitian tersebut lebih memilih menggunakan sensor PIR daripada kamera video untuk memfungsikan secara maksimal sensor

piroelektrik. Gerakan-gerakan sederhana yang dilakukan oleh tangan dideteksi secara non-kontak. Dalam penelitiannya dinyatakan bahwa sistem sensor ini unik dan berbiaya rendah serta memerlukan aplikasi daya yang rendah.

Sistem pendeteksian nyala api dengan menggunakan sensor PIR dilakukan oleh Ugur dan kawan-kawan (2008). Pendeteksian nyala api dapat digunakan untuk mendeteksi kebakaran dalam suatu ruang yang besar. Proses kedipan nyala api dari kebakaran yang tidak terduga dan aktifitas manusia dan beberapa obyek lain dimodelkan menggunakan Hidden Markov Models (HMM) dan dilatih menggunakan transformasi wavelet dari sinyal sensor PIR. Setiap kali ada aktivitas dalam range sistem sensor PIR, sinyal sensor dianalisis dalam domain wavelet dan sinyal ini diumpungkan ke dalam himpunan HMM. Keputusan ada api atau tidak ada api dibuat sesuai dengan keputusan HMM dengan nilai probabilitas tertinggi.

Inframerah adalah radiasi elektromagnetik dari panjang gelombang yang lebih panjang dari cahaya tampak, tetapi lebih pendek dari radiasi gelombang radio (Budzier dan Gerlach, 2011). Namanya berarti dibawah (*infra* = bawah, dalam bahasa latin) merah, merah merupakan warna dari cahaya tampak dengan gelombang terpanjang. Radiasi inframerah memiliki jangkauan tiga order dan memiliki panjang gelombang antara 700 nm dan 1 mm. Sensor PIR atau yang sering disebut dengan *Passive Infrared*, *Pyroelectric*, atau *IR motion sensor*. Sensor PIR KC7783R dapat mendeteksi gerakan terutama yang berasal dari manusia selama berada dalam jangkauan (*range*) sensor. Sensor ini mempunyai keunggulan yaitu bentuk kecil, tidak mahal, memerlukan konsumsi daya yang rendah, mudah digunakan, dan tidak mudah rusak. Untuk alasan inilah maka sensor ini banyak sekali digunakan dalam aplikasi di dalam rumah maupun untuk kepentingan bisnis.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini di lakukan di Laboratorium Mikroprosesor Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung. Ukuran dimensi ruangan panjang x lebar x tinggi adalah 890 centimeter x 700 centimeter x 300 centimeter, laboratorium mikroprosesor mempunyai dua unit pendingin udara masing-masing 1,5 pk. Penelitian ini dilakukan dengan berbagai variasi keadaan ruang meliputi suhu udara (dengan pengaturan pendingin udara ruangan). Pendingin udara diatur pada tiga posisi yaitu suhu kamar/średang senilai 25<sup>0</sup>C, suhu dingin senilai 16<sup>0</sup>c, dan suhu tinggi dengan mematikan pendingin udara dan ruang masih dalam keadaan tertutup. Di dalam laboratorium mikroprosesor terdapat dua jendela kaca berukuran 132 centimeter x 32 centimeter, memiliki pintu kaca dengan ukuran 210 centimeter x 140 centimeter. Laboratorium juga dilengkapi dengan lampu penerangan sebanyak 8 buah lampu TL 40 watt. Semua penelitian dilakukan siang hari antara jam 08.00 wib sampai dengan 16.00 wib. Penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahap, yaitu:

- Tahap pertama adalah perancangan sistem masukan berupa sensor yang dihubungkan dengan catu daya. Dari hasil keluaran sensor ini akan diamati apakah sinyal masih berbentuk sinyal digital atau berbentuk sinyal analog yang masih perlu diolah dahulu sehingga menghasilkan keluaran digital. Pengamatan sinyal keluaran dengan menggunakan osiloskop dan voltmeter untuk mengetahui lebih detil tegangan yang dihasilkan. Dalam proses ini tentunya dilakukan dengan adanya sumber inframerah (misalnya manusia) dan tanpa adanya sumber tersebut (dengan cara mengarahkan sensor ke tempat yang kosong).
- Tahap kedua penelitian ini mengukur pancaran (*coverage*) daya jangkauan sensor. Dengan meletakkan sensor pada suatu tempat yang tidak terhalang dengan suatu benda apapun, serta mengarahkan ke obyek yang akan dideteksi. Obyek pertama yang digunakan percobaan ini adalah manusia. Dengan berbagai variasi jarak (mulai jarak yang terdekat sampai dengan jarak yang terjauh) akan diamati hasil output sensor. Hal yang sama juga dilakukan dengan berbagai variasi sudut terhadap sensor.
- Yang dilakukan pada tahap ketiga adalah memberikan obyek yang berbeda-beda pada masukan sensor. Obyek yang akan dicoba untuk dideteksi adalah manusia, hewan, dan alat yang dapat memancarkan gelombang inframerah. Hewan yang dipilih adalah kucing dan tikus dengan alasan bahwa hewan tersebut seringkali dapat masuk ke dalam suatu ruang walaupun dengan melalui celah kecil.
- Tahap terakhir yang dilakukan dalam penelitian ini adalah memasang sensor di dinding laboratorium Mikroprosesor Teknik Elektro FTI Unissula. Jika ternyata ada beberapa

bagian yang tidak terdeteksi oleh sensor, maka akan dilakukan penyesuaian sudut letak sensor dan dimungkinkan juga penambahan sensor sehingga seluruh ruangan dapat terdeteksi oleh sensor jika ada suatu sumber inframerah yang masuk.

### 3. HASIL DAN ANALISA

Hasil pengukuran yang didapatkan meliputi pengukuran sinyal keluaran, pengukuran *setting time* sensor, pengukuran cakupan (*coverage*) daya pancar sensor, pengukuran dari obyek yang berbeda, serta aplikasi sensor pada ruang dengan berbagai macam variasi penempatan.

#### 3.1 Pengukuran Sinyal Keluaran

Pengukuran pertama yang dilakukan adalah pengukuran sinyal keluaran sensor dengan menggunakan voltmeter dan osiloskop. Langkah ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sinyal keluaran sehingga didapatkan karakteristik keluaran sensor. Dengan mengetahui sinyal tersebut maka akan diketahui bagaimana cara selanjutnya untuk mengolah sinyal agar dapat dimanfaatkan. Catu daya yang digunakan senilai 5 volt yang didapatkan dari catu daya variabel laboratorium Leader LPS-162A. Obyek yang dideteksi sensor ini adalah manusia yaitu dengan cara mengarahkan sensor pada tubuh peneliti serta membalikkan posisinya. Maksudnya adalah dengan posisi peneliti di belakang sensor sehingga sensor tidak mendapatkan masukan dari obyek apapun.

Berdasarkan pengamatan pada osiloskop dapat diketahui bahwa keluaran sensor adalah berupa tegangan yang mendekati catu daya yang diberikan yaitu 4,6 volt pada saat sensor mendeteksi adanya obyek (pada percobaan ini adalah manusia). Sensor akan mengeluarkan tegangan hampir mendekati 0 volt pada saat tidak mendeteksi manusia. Percobaan yang dilakukan pada suhu kamar 26<sup>0</sup>C ini menunjukkan bahwa keluaran sensor adalah sinyal kotak yang dapat dianalogikan dalam bentuk digital yaitu logika 0 pada saat tidak mendeteksi manusia dan menghasilkan keluaran logika 1 pada saat mendeteksi gelombang inframerah manusia. Berdasarkan hal tersebut maka jika sensor diberi catu daya 5 volt maka keluaran sensor siap untuk digunakan atau diolah oleh sistem mikroprosesor tanpa perlu melalui sistem pengkondisi sinyal.

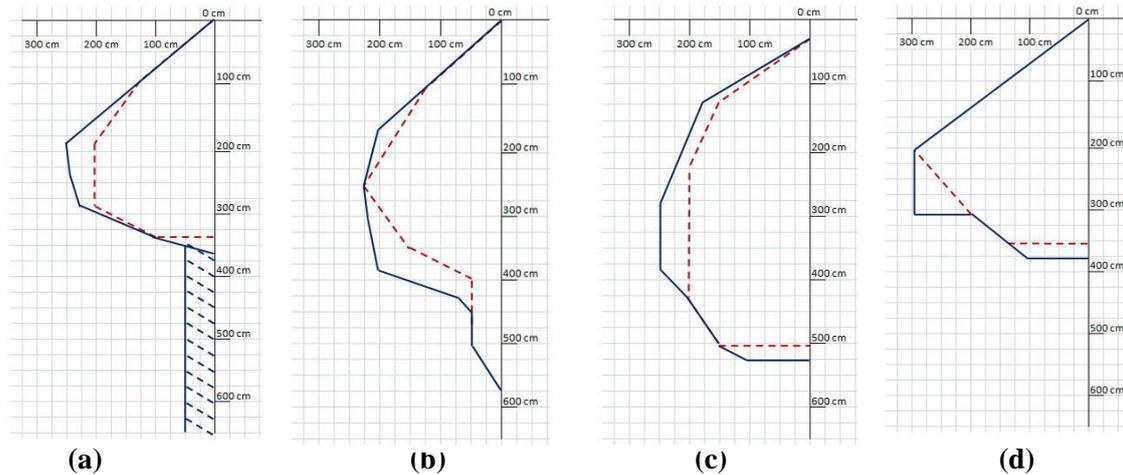
#### 3.2 Pengukuran *Setting Time* Sensor

Pada saat sensor mulai diaktifkan diperlukan *setting time* untuk dapat berfungsi sebagaimana mestinya yaitu mendeteksi pancaran infra merah suatu obyek (*steady state*). Pengukuran *setting time* ini diperlukan untuk mendapatkan waktu yang tepat agar tidak terjadi kesalahan jika sensor telah dihubungkan dengan perangkat lain.

Keluaran sensor dihubungkan dengan sebuah buzzer sehingga jika sensor mendeteksi pancaran inframerah maka buzzer akan berbunyi. Pengukuran *setting time* menggunakan stopwatch dilakukan dengan mengaktifkan/memberi catu daya pada sensor serta memberi obyek yang dapat dideteksi olehnya. Waktu yang diperlukan pada saat mulai pemberian catu daya ke sensor sampai dengan buzzer berbunyi adalah waktu *setting time* yang diperlukan sensor untuk mulai aktif. Dari sepuluh pengukuran yang dilakukan dapat diambil rata-rata waktu untuk *setting time* adalah 26,16 detik.

#### 3.3 Pengukuran Cakupan (*Coverage*) Daya Pancar Sensor

Cakupan daya pancar sensor atau yang sering disebut dengan *coverage* diamati pada pengukuran kedua ini. Posisi obyek yang akan dipantau oleh sensor di depan lurus secara berhadapan (sudut 0 derajat) dengan sensor dan bergerak ke kanan atau ke kiri dengan jarak tertentu. Obyek yang dipilih pada percobaan ini adalah manusia. Mulai dari titik awal 25 cm obyek akan bergerak mundur sampai dengan jarak tertentu dimana sensor sudah tidak bisa mendeteksi keberadaan obyek lagi. Variasi yang dilakukan pada pengukuran ini adalah variasi penempatan sensor terhadap lantai yang digunakan (variasi ketinggian dari lantai). Ketinggian yang dilakukan dalam percobaan ini adalah 50 cm, 100 cm, 150 cm, dan 200 cm. Alasan pemilihan nilai ini dikarenakan rata-rata tinggi manusia Indonesia adalah 165 sampai dengan 170 cm.



**Gambar 1. Coverage daya pancar sensor dengan ketinggian  
(a) 50 cm (b) 100 cm (c) 150 cm (d) 200 cm**

Hasil cakupan daya pancar sensor dengan berbagai variasi ketinggian diperlihatkan pada Gambar 1. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa pancaran maksimal berada pada ketinggian sensor 150 cm. Untuk ketinggian 50 cm ada satu gambar bidang lurus memanjang sampai dengan jarak 650 cm yang menunjukkan bahwa sensor masih mendeteksi gerakan manusia tetapi dalam arah horizontal (atas ke bawah). Pada bidang tersebut sensor tidak mendeteksi gerakan manusia arah vertikal (gerakan menyamping). Untuk ketinggian sensor 200 cm mempunyai cakupan daya pancar sensor yang sempit dibandingkan dengan ketinggian yang lain. Hal ini dapat dipahami karena obyek penelitian (manusia) mempunyai ketinggian kurang dari jarak tersebut.

### 3.4 Pengukuran Terhadap Obyek yang Berbeda

Setelah melakukan pengukuran daya pancar sensor PIR, maka dalam pengukuran selanjutnya dilakukan dengan berbagai obyek yang diketahui dapat memancarkan infra merah. Obyek yang dipilih ini dapat dikategorikan dua jenis yaitu obyek yang merupakan makhluk hidup dan obyek yang mati/benda mati yang memancarkan infra merah.

Makhluk hidup yang dipilih adalah manusia (pengukurannya telah dapat dilihat dalam pembahasan sebelumnya), kucing, dan tikus. Pemilihan jenis hewan ini dikarenakan hewan-hewan ini dapat masuk dalam lingkungan/ruangan. Dengan jalan masuk yang sangat kecil/sempit makhluk hidup ini tetap bisa melewatinya. Walaupun di dalam laboratorium mikroprosesor tidak mungkin dimasuki hewan tersebut (karena ruangan sangat rapat dan tidak ada celah sedikitpun), tetapi penelitian ini juga diharapkan dapat berguna untuk berbagai macam ruangan. Hampir disemua ruangan manapun dapat dimasuki oleh makhluk ini, maka dengan pertimbangan tersebut kehadirannya diujicobakan juga dalam penelitian ini. Pada penelitian ini didapatkan jarak maksimal 50 cm agar sensor dapat mendeteksi keberadaan tikus. Karena selama penelitian dalam satu hari tikus tersebut cenderung diam (dimungkinkan tikus tersebut stress karena tidak terbiasa berinteraksi dengan manusia) maka hasil yang didapatkan kurang memuaskan.

Oleh karena itu percobaan untuk tikus diulangi kembali dengan menggunakan tikus putih sebanyak 3 ekor. Dengan penggunaan tikus ini didapatkan hasil yang lebih dapat mewakili keberadaan hewan pengerat ini karena kelincahannya selama penelitian.

Dengan kelincahannya di dalam perangkap serta manipulasi gerakan mereka untuk menjauhi dan mendekati sensor (maksudnya adalah perangkap tikus diletakkan di atas sebuah kotak persegi yang ditarik dengan tali sejajar dengan posisi sensor) didapatkan jarak sejauh 180 cm. Dengan jarak jauh tersebut keberadaan tikus tersebut masih terdeteksi oleh sensor PIR. Pendeteksian sensor terhadap seekor kucing merupakan penelitian selanjutnya yang dilakukan. Hasil yang didapatkan adalah sensor mampu mendeteksi seekor kucing dengan jarak maksimal 230 cm.

Benda mati yang dipilih dalam penelitian ini adalah nyala api yang disimulasikan dengan lilin yang dibakar. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan sumber api yang besar berasal dari

percikapan api dan menjadi api yang kecil dan kemudian membesar. Api merupakan sumber inframerah juga sehingga salah satu sumber infra merah yang dipilih adalah nyala api lilin. Jarak maksimal yang masih terdeteksi adalah sejauh 210 cm.

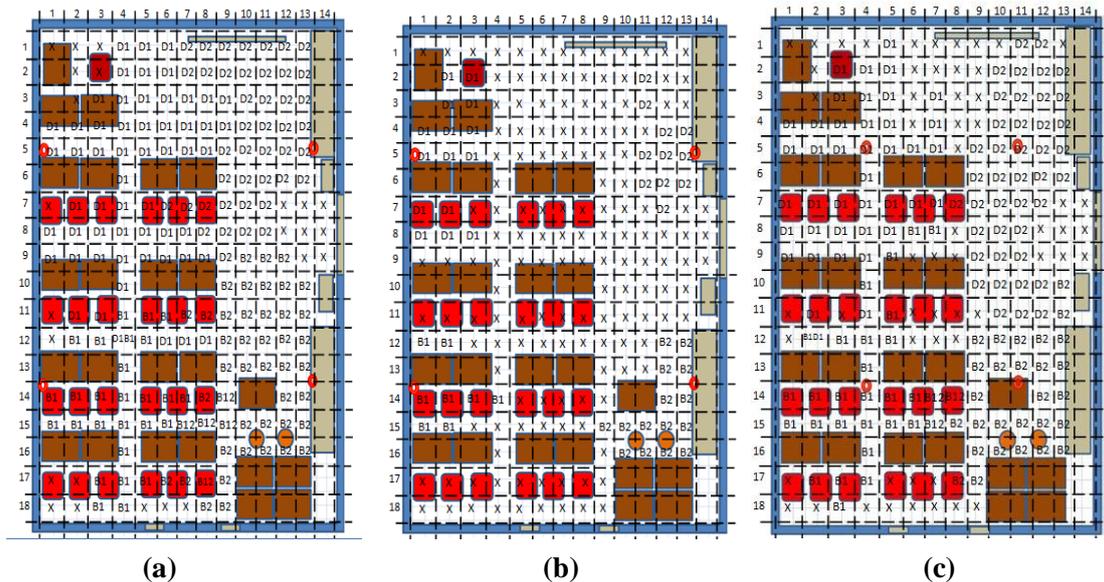
Berdasarkan hasil percobaan juga didapatkan bahwa ketika nyala api dipadamkan maka beberapa saat ketika sumbu api masih menghasilkan bara sensor PIR tetap mendeteksi keberadaan pancaran gelombang inframerah tersebut. Ini membuktikan bahwa sensor PIR ini bekerja sesuai dengan sifatnya yaitu mendeteksi keberadaan pancaran gelombang inframerah walaupun secara kasat mata manusia tidak kelihatan.

**3.5 Aplikasi Sensor Pada Ruang dan Analisanya**

Pada penelitian ini digunakan 4 buah sensor PIR yang diletakkan di sisi kanan sebanyak 2 buah dan di sisi kiri juga sebanyak 2 buah. Variasi yang dilakukan adalah dengan pengubahan sudut sensor meliputi sudut 90°, 75°, 60°, 45° 30°, dan 0° terhadap lantai. Untuk memudahkan penelitian maka ruangan dibagi dalam 252 cluster. Karena ada beberapa tempat yang tidak mungkin untuk dilakukan pendeteksian seperti di atas lemari, di atas meja computer, maka ditetapkan ada 56 kluster yang bebas sehingga total keseluruhan kluster yang diteliti adalah 196 titik.

Gambar 2(a) memperlihatkan hasil penelitian cakupan pendeteksian sensor PIR dengan sudut 75° dengan ketinggian 200 cm di atas lantai yang mendapatkan nilai tertinggi untuk daerah cakupannya dibandingkan dengan sudut-sudut lain. Dari total keseluruhan kluster hanya ada 24 titik yang tidak terdeteksi oleh sensor. Hal ini menunjukkan bahwa dengan posisi sudut tersebut maka penerapan sensor di laboratorium ini mencapai angka maksimal dalam pendeteksian obyek. Dalam persentase menunjukkan angka 89,5 % cakupan sensor.

Berkebalikan dengan hal tersebut, dengan posisi sudut 0° pada ketinggian 200 cm di atas lantai didapatkan nilai yang sangat rendah yaitu hanya 49 kluster yang terdeteksi. Sehingga ada 147 titik yang tidak terjangkau oleh sensor atau dalam persentase adalah 25% pendeteksiaannya. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2(b).



**Gambar 2. Pendeteksian cakupan daya pancar sensor dengan posisi sensor (a) sudut 75° (b) sudut 0° (c) pada plafon**

Penelitian juga dilakukan untuk peletakan sensor pada langit-langit laboratorium. Gambar 2(c) menunjukkan hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut. Sebanyak 140 titik terdeteksi oleh jangkauan sensor dan ini berarti ada 71,4% kluster dari total keseluruhan kluster yang mampu dideteksi sensor.

Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa sensor PIR yang digunakan mempunyai daerah jangkauan pendeteksian yang tidak simetris. Ini dapat terjadi karena desain fabrikasi lensa yang

digunakan. Dengan adanya keterbatasan ini maka diperlukan pengaturan sudut yang tepat agar pendeteksian sensor berada pada nilai yang maksimal. Hasil penelitian dengan berbagai sudut yang meliputi  $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $75^{\circ}$ , dan  $90^{\circ}$  diujicobakan dan didapatkan nilai maksimal pendeteksian ketika sensor berada pada sudut  $75^{\circ}$  yang berketinggian 200 cm di atas lantai. Suhu yang masih berada dalam toleransi yaitu antara  $22^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $31^{\circ}\text{C}$  masih memungkinkan suatu makhluk hidup dan suatu benda untuk memancarkan gelombang inframerah. Pancaran inframerah ini masih ditangkap oleh sensor PIR yang digunakan.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Mikroprosesor Teknik Elektro Unissula didapatkan hasil sensor dapat menjangkau cakupan terluas ketika diletakkan diketinggian 200 cm dari lantai dengan sudut kemiringan  $75^{\circ}$ . Jarak 500 cm merupakan titik terjauh untuk mendeteksi manusia, sedangkan untuk mendeteksi tikus maksimal 180 cm, kucing sejauh 230 cm, dan nyala api lilin 210 cm. Perubahan suhu udara di laboratorium senilai  $22^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $31^{\circ}\text{C}$  tidak berpengaruh secara signifikan terhadap pendeteksian sensor.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Budzier H, Gerlach G, 2011, *Thermal Infrared Sensors, Theory, Optimisation And Practice*, First Edition, John Wiley & Sons Ltd, United Kingdom.
- Gifson, A, 2009, *Sistem Pemantau Ruang Jarak jauh dengan Sensor Passive Infrared berbasis Mikrokontroler AT89S52*. *Telkomnika* Vol 7 No.3 Desember 2009: 201-206, Universitas Akhmad Dahlan, Yogyakarta. <http://telkomnika.ee.uad.ac.id/n9/files/Vol.7No.3Des09/7.3.12.09.09.pdf>, diakses tanggal 12 Januari 2012.
- Suzuki R, Otake S, Izutsu T, Yoshida M, Iwaya T, 2006, *Monitoring daily living activities of elderly people in a nursing home using an infrared motion-detection system*, dalam *Telemedicine journal and e-health: The official journal of the American Telemedicine Association*, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16620169>, diakses tanggal 12 Januari 2012.
- Ugur Toreyin, E. Birey Soyer, Onay Urfalioğlu, and A. Enis C, etin, 2008, *Flame Detection System Based On Wavelet Analysis Of PIR Sensor Signals with an HMM Decision Mechanism* dalam 16th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2008), Lausanne, Switzerland, August 25-29, 2008, <http://www.eurasip.org/Proceedings/Eusipco/Eusipco2008/papers/1569101620.pdf> diakses tanggal 28 Februari 2012.
- Wojtczuk. P, Alistair Armitagey, T. David Binnie, and Tim Chamberlainz, 2011, *PIR Sensor Array for Hand Motion Recognition*, dalam *SENSORDEVICES 2011 : The Second International Conference on Sensor Device Technologies and Applications*, <http://www.iidi.napier.ac.uk/c/publications/publicationid/13367797>, diakses tanggal 29 Februari 2012