PERBANDINGAN KARAKTERISTIK SENSOR UVTRON DAN PHOTODIODA SEBAGAI PENDETEKSI TITIK API PADA WAHANA TERBANG *VERTICAL TAKE-OFF LANDING* (VTOL) BERBASIS MIKROKONTROLER

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro

Oleh

Erni Setyaningsih

NIM.5301413092

PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2017

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama	:	Erni Setyaningsih
NIM	:	5301413092
Program Studi	:	S-1 Pendidikan Teknik Elektro
Judul	:	Perbandingan Karakteristik Sensor UVTron dan Photodioda sebagai Pendeteksi Titik Api pada Wahana Terbang *Vertical Take-Off Landing* (VTOL) Berbasis Mikrokontroler.

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Program Studi S-1 Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 07 Agustus 2017

Dosen Pembimbing I,	Dosen Pembimbing II,
Dr. -Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T.	Drs. Suryono, M.T.
NIP. 197805312005011002	NIP. 195503161985031001

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PENGESAHAN

Skripsi dengan Judul Perbandingan Karakteristik Sensor UVTron dan Photodioda sebagai Pendeteksi Titik Api pada Wahana Terbang *Vertical Take-Off Landing* (VTOL) Berbasis Mikrokontroler telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 24 Agustus 2017.

Oleh:

Nama : Erni Setyaningsih

NIM : 5301413092

Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro

Panitia:

Ketua Panitia

Dr. -Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T.
NIP. 197805312005011002

Sekretaris

Drs. Agus Suryanto, M.T.
NIP. 196708181992031004

Penguji I

Tatyantoro Andrasto, S.T., M.T.
NIP.196803161999901001

Penguji II/Pembimbing I

Dr. -Ing. Dhidik P., M.T.
NIP. 197805312005011002

Penguji III/Pembimbing II

Drs. Suryono, M.T.
NIP. 195503161985031001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Nur Qudus, M.T.
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperlukan karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang beraku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 07 Agustus 2017
Yang membuat pernyataan,

Erni Setyaningsih
NIM. 5301413092

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. Allah menghendaki kemudahan bagimu dan tidak mengehendaki kesukaran bagimu (QS Al-Baqarah: 185).
2. Ketahuilah hasil tidak akan mengkhianati proses, apa yang kamu terima setara dengan apa yang kamu lakukan.
3. Selalu ada doa Ibu pada setiap keberhasilan dan kesulitan anaknya.

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Bapak Darmuji dan Ibu Sukarti yang selalu memberikan dukungan, semangat, motivasi, dan doa yang terbaik untuk anak-anaknya.
2. Mbak Nur, Mas Fauzi, dan Mas Mutok yang tidak pernah lelah memberikan semangat dan motivasi untuk terus bejuang membanggakan orangtua.
3. Teman-teman PTE 2013 khususnya Rombel 3 yang selalu membantu dan saling memberikan semangat satu sama lain.
4. Teman-teman Kos Priyangan yang memberikan bantuan serta semangat.

RINGKASAN

Erni Setyaningsih. 2017. **Perbandingan Karakteristik Sensor UVTron dan Photodioda sebagai Pendeteksi Titik Api pada Wahana Terbang *Vertical Take-Off Landing* (VTOL) Berbasis Mikrokontroler**. Pembimbing Dr. -Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T. dan Drs. Suryono, M.T. Program Studi S-1 Pendidikan Teknik Eletronika Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Kontes Robot Terbang Indonesia (KRTI) devisi *Vertical Take-Off Landing* (VTOL) merupakan perlombaan pesawat tanpa awak dengan misi mendeteksi dan memadamkan api dengan atau tanpa menggunakan air. Karena lomba dilakukan di luar ruangan dengan kondisi cuaca yang berubah-ubah, maka dibutuhkan suatu sistem deteksi api pada wahana terbang VTOL yang efektif dalam mendeteksi titik api di luar ruangan.

Pada penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D). Prosedur penelitian dilakukan dengan melakukan perancangan, penerapan metode dan pengujian sistem deteksi api dengan menggunakan sensor UVTron dan photodioda.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa sistem deteksi api yang telah dibuat dapat diimplementasikan pada wahana terbang VTOL baik yang menggunakan sensor UVTron maupun photodioda berhasil mendeteksi api dan tidak mengganggu sistem kerja dari wahana terbang. Dari kedua sensor tersebut didapatkan hasil bahwa tingkat keakurasian sensor yang cocok untuk diimplementasikan pada wahana terbang VTOL adalah sensor UVTron.

Kata Kunci: *Wahana Terbang VTOL, Sistem deteksi api, UVTron, Photodioda*

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul "Perbandingan Karakteristik Sensor UVTron dan Photodioda sebagai Pendeteksi Titik Api pada Wahana Terbang *Vertical Take-Off Landing* (VTOL) Berbasis Mikrokontroler". Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat Nya di yaumul akhir nanti, Aamiin.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik, Dr. -Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T., Ketua Jurusan Teknik Elektro sekaligus Kaprodi Teknik Elektro.
3. Dr. -Ing. Dhidik Prastiyanto S.T., M.T. dan Drs. Suryono, M.T., Pembimbing I dan II yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya ini.
4. Tatyantoro Andrasto, S.T., M.T., Penguji yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.
5. Drs. Slamet Seno Adi, M.Pd., M.T. selaku dosen wali yang telah memberikan pengarahan dan motivasi untuk menempuh studi.
6. Semua dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UNNES yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
7. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga karya tulis ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Semarang, 07 Agustus 2017

Peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
PERSETUJUAN PEMBIMBING ii
PENGESAHAN iii
PERNYATAAN KEASLIAN iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN v
RINGKASAN vi
PRAKATA vii
DAFTAR ISI viii
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR LAMPIRAN xiv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Identifikasi Masalah 3
1.3 Pembatasan Masalah 4
1.4 Perumusan Masalah 4
1.5 Tujuan Penelitian 5
1.6 Manfaat Penelitian 5
1.7 Penegasan Istilah 5
1.8 Sistematika Penulisan Skripsi 7
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI 9
2.1 Kajian Pustaka 9
2.2 Landasan Teori 12
2.2.1 Pengertian Wahana Terbang VTOL 12
2.2.1.1 Komponen Pembentuk *Quadcopter* 14
2.2.1.2 Prinsip Kerja *Quadcopter* 18
2.2.2 Sensor Photodioda 19
2.2.2.1 Prinsip Kerja Photodioda 21
2.2.2.2 Karakteristik Photodioda 23

2.2.3 Sensor UVTon 26
2.2.3.1 Prinsip Kerja Sensor UVTron 27
2.2.3.2 Karakteristik Sensor UVTron 28
2.2.4 Arduino Nano 30
2.2.4.1 Konfigurasi Arduino Nano 31
2.2.4.2 Komunikasi pada Arduino Nano 33
2.2.4.3 Pemograman Arduino Nano 34
BAB III METODE PENELITIAN..... 37
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan 38
3.2 Desain Penelitian 38
3.3 Prosedur Penelitian 40
3.3.1 Potensi Masalah 40
3.3.2 Pengumpulan Data dan Informasi 40
3.3.3 Desain Produk 41
3.3.3.1 Desain secara Umum 41
3.3.4 Pembuatan Alat 52
3.3.5 Pengujian dan Pengumpulan Data 53
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 56
4.1 Hasil Penelitian 56
4.1.1 Hasil Pembuatan Sistem Deteksi Api..... 56
4.1.2 Hasil Pembuatan Rangkaian Elektronik 58
4.1.3 Hasil Pengujian Program Arduino IDE 59
4.2 Pengujian Sistem Deteksi Api 60
4.2.1 Pengujian Sensor UVTron 60
4.2.1.1 Pengujian Jarak Pendeteksian Api oleh Sensor UVTron tanpa Pelindung 61
4.2.1.2 Pengujian Jarak Pendeteksian Api oleh Sensor UVTron dengan Pelindung 63
4.2.1.3 Pengujian Lebar Sudut Pendeteksian Api oleh Sensor UVTron tanpa Pelindung 66
4.2.1.4 Pengujian Lebar Sudut Pendeteksian Api oleh Sensor UVTron

dengan Pelindung 66
4.2.2 Pengujian Sensor Photodioda 67
4.2.2.1 Pengujian Jarak Pendeteksian Api oleh Sensor Photodioda tanpa Pelindung 68
4.2.2.2 Pengujian Jarak Pendeteksian Api oleh Sensor Photodioda dengan Pelindung 69
4.2.2.3 Pengujian Photodioda Terhadap Intensitas Cahaya 72
4.2.3 Pengujian Sensor Deteksi Api dengan Menggunakan *Drone* 74
4.3 Pembahasan 75
4.3.1 Pengujian Sistem Deteksi Api Menggunakan Sensor UVTron 75
4.3.2 Pengujian Sistem Deteksi Api Menggunakan Sensor Photodioda .. 78
BAB V PENUTUP 81
5.1 Kesimpulan 81
5.2 Saran 82
DAFTAR PUSTAKA 83
LAMPIRAN 86

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Panjang Gelombang Photodioda Berdasarkan Bahan Pembuatnya 20
Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Nano 31
Tabel 2.3 Konfigurasi Pin Arduino Nano 32
Tabel 3.1 Fitur Arduino IDE 50
Tabel 4.1 Pengujian Sensor UVTron tanpa Pelindung 62
Tabel 4.2 Pengujian Sensor UVTron dengan Pelindung 64
Tabel 4.3 Pengujian Sudut Deteksi Sensor UVTron tanpa Pelindung 66
Tabel 4.4 Pengujian Sudut Deteksi Sensor UVTron dengan Pelindung 67
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Deteksi Api oleh Photodioda tanpa Pelindung 68
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Deteksi Api oleh Photodioda dengan Pelindung 70
Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Tegangan Keluar Photodioda 73
Tabel 4.8 Logika Deteksi Api Menggunakan Sensor UVTron 76

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 *Drone* 12
Gambar 2.2 Bentuj Fixed Wing *Drone* 13
Gambar 2.3 Bentuk Multicopter *Drone* 14
Gambar 2.4 Bagian-Bagian dari *Quadcopter* 15
Gambar 2.5 Arah Putaran Baling-Baling *Quadcopter* 18
Gambar 2.6 Struktur Sambungan Photodioda 19
Gambar 2.7 Simbol dan Bentuk Fisik Photodioda 20
Gambar 2.8 Prinsip Kerja Photodioda 21
Gambar 2.9 Hubungan Keluaran Sensor Photodioda dengan Intensitas Cahaya .. 23
Gambar 2.10 Penampang Melintang Photodioda 24
Gambar 2.11 Bentuk Fisik Sensor UVTron dan *Driver* Circuit C10807 26
Gambar 2.12 Sudut Deteksi Sensor UVTron 27
Gambar 2.13 Prinsip Kerja Sensor UVTron 28
Gambar 2.14 Karakteristik Sensor UVTron 28
Gambar 2.15 *Driver* Sensor UVTron 29
Gambar 2.16 Arduino Nano Tampak Depan 30
Gambar 2.17 Arduino Nano Tampak Belakang 31
Gambar 2.18 Tampilan Arduino IDE 34
Gambar 3.1 Langkah-Langkah Penelitian 38
Gambar 3.2 *Flowchart* Alur Penelitian 39
Gambar 3.3 Diagram Blok Desain Sistem Deteksi Api 41
Gambar 3.4 Desain Alat Deteksi Api Menggunakan Sensor UVTron 42
Gambar 3.5 Desain Alat Deteksi Api Menggunakan Sensor Photodioda 42
Gambar 3.6 *Output* Sensor UVTron 44
Gambar 3.7 Skema Rangkaian Sensor Api Menggunakan UVTron 44
Gambar 3.8 Diagram Alur Deteksi Api Menggunakan Sensor UVTron 45
Gambar 3.9 Konfigurasi Sensor Photodioda 46
Gambar 3.10 Diagram Alur Deteksi Api Menggunakan Sensor Photodioda 47
Gambar 3.11 Skema Rangkaian Sensor Api Menggunakan Photodioda 48

Gambar 3.12 Arduino IDE 49
Gambar 3.13 Halaman Penulisan Program pada Arduino IDE 50
Gambar 3.14 *Flowchart* Program Sistem Deteksi Api Menggunakan *Drone* 54
Gambar 4.1 Sistem Deteksi Api yang telah Dibuat 57
Gambar 4.2 Hasil Pengukuran Berat Alat 57
Gambar 4.3 Hasil PCB yang telah Dibuat 58
Gambar 4.4 Proses *Verify/Compile*pada Arduino IDE 59
Gambar 4.5 Skematik Titik Pengujian Sensor UVTron 61
Gambar 4.6 Blok Diagram *Driver* UVTron C10807 62
Gambar 4.7 Pengujian Sensor UVTron dengan Pelindung dan tanpa Pelindung. 65
Gambar 4.8 Jarak Deteksi Api dengan Photodioda tanpa Pelindung..... 69
Gambar 4.9 Jarak Deteksi Api oleh Sensor Photodioda dengan Pelindung 70
Gambar 4.10 Pengujian Sensor Photodioda 72
Gambar 4.11 Grafik Hubungan Tegangan Keluar dengan Intensitas Cahaya 73
Gambar 4.12 Pengujian Sistem Deteksi Api Menggunakan *Drone*..... 74
Gambar 4.13 *Output* Gelombang Sensor UVTron sebelum Mendeteksi Api 76
Gambar 4.14 *Output* Gelombang Sensor UVTron setelah Mendeteksi Api 76
Gambar 4.15 Besar Sudut Sensor UVTron dengan Pelindung 77
Gambar 4.16 Pembacaan Nilai ADC pada Photodioda 79

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Desain Sistem Deteksi Api 86
Lampiran 2 Dokumentasi Penelitian 87
Lampiran 3 *Datasheet Driver* UVTron 88
Lampiran 4 *Datasheet Flame* Sensor UVTron 90
Lampiran 5 Formulir Usulan Topik Skripsi 92
Lampiran 6 Surat Usulan Dosen Pembimbing Penulisan Skripsi 93
Lampiran 7 Surat Keputusan Dosen Pembimbing 94
Lampiran 8 Surat Permohonan Menggunakan Fasilitas Laboratorium 95
Lampiran 9 Surat Permohonan Menggunakan Laboratorium 96
Lampiran 10 Surat Permohonan Peminjaman Alat Laboratorium 97
Lampiran 11 Formulir Pembimbingan Penulisan Skripsi 98
Lampiran 12 Formulir Laporan Selesai Bimbingn Skripsi 99
Lampiran 13 Surat Tugas Panitia Ujian Skripsi 100

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kontes Robot Terbang Indonesia (KRTI) merupakan kompetisi yang diadakan oleh lembaga Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI) sejak tahun 2013. Adapun beberapa divisi yang diperlombakan dalam KRTI dan salah satunya adalah Devisi *Vertical Take-Off and Landing* (VTOL). Wahana terbang VTOL merupakan robot terbang yang dirancang untuk melakukan tugas memadamkan api secara *fully autonomous* disuatu kawasan yang mewakili suatu area yang di dalamnya terdapat titik-titik api kebakaran yang sebelumnya tidak diketahui, kemudian memadamkannya, dan diakhiri dengan *landing* ke posisi awal/*home* (KRTI, 2016:3).

Pada 2 tahun terakhir, divisi VTOL mengangkat tema yang sama yaitu "UAV sebagai pemadam kebakaran (*fire extinguisher*) dini pada titik-titik api terdeteksi". Seperti diketahui, tingginya angka kebakaran hutan di Indonesia disetiap tahun menjadi masalah yang makin rumit dalam penanganannya. Selama ini, upaya pemadaman api pada kebakaran hutan menggunakan strategi *water boming,* yakni dengan menggunakan pesawat berawak atau helikopter yang dapat membawa muatan air kemudian menjatuhkannya didaerah terbakar (M. Fadhil Abdullah, 2015:2). Pemadaman api menggunakan pesawat berawak memiliki risiko yang sangat besar bagi pilot, ko-pilot, teknisi, serta penumpangnya. Untuk itulah dibutuhkan sebuah wahana terbang tanpa awak yang mampu menggantikan tugas manusia untuk mendeteksi dan memadamkan api secara *fully autonomous*.

Deteksi api dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan menggunakan kamera. Kamera ini berfungsi untuk mengenali objek api dengan menggunakan pengolahan citra. Untuk dapat mendeteksi api secara akurat dibutuhkan kamera yang berkecepatan tinggi (beroperasi pada 210 fbs), dimana proses deteksi api dapat selesai dalam waktu 15 ms atau kurang (Thomas Schroeder, 2013). Setiawardhana (Wahyu Sapto Aji, 2009:207) dalam penelitiannya telah merancang robot pemadam api menggunakan kamera untuk mendeteksi api dengan melakukan analisis citra digital. Meski berdasarkan hasil uji coba cukup memuaskan, yaitu mencapai persentase keberhasilan 93,3% untuk mendeteksi api, namun dari sudut beban komputasi sangat berat dibandingkan dengan sensor yang memang *dedicate* untuk api.

Dwi Astharini (2013) membuat perangkat sistem deteksi api dalam ruangan yang menggunakan sensor TPA81 untuk mendeteksi api. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa sensor TPA81 ini mampu mendeteksi api hingga jarak 50 cm dengan posisi titik api harus tegak lurus di depan sensor. Selanjutnya Marjuni (2014) dalam penelitiannya membuat sistem pendeteksi api menggunakan sensor *infrared*, dibandingkan dengan TPA81 sensor ini hanya mampu mendeteksi titik api pada jarak 10 cm. Kelemahan dari kedua sensor ini adalah jarak dan sudut deteksi api yang terbatas. Untuk itulah dalam penelitian ini akan dirancang dan dibuat suatu sistem deteksi api pada wahana terbang VTOL yang bertujuan untuk mengurangi beban komputasi dan meningkatkan keakurasian dalam mendeteksi api. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi api adalah sensor UVTron dan photodioda yang berbasis mikrokontroler Arduino

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Nano. Untuk mengetahui dan menganalisa kinerja sensor UVTron dan photodioda sebagai sensor api pada wahana terbang VTOL, maka sensor akan diuji coba pada ruangan terbuka (*outdoor*).

Melihat urain sebelumnya, maka penulis membuat skripsi dengan berjudul **"Perbandingan Karateristik Sensor UVTron dan Photodioda sebagai Pendeteksi Titik Api Pada Wahana Terbang *Vertical Take-Off Landing* (VTOL) Berbasis Mikrokontroler"**. Sistem deteksi api ini diharapkan dapat memaksimalkan kinerja dari wahana terbang tanpa awak untuk melakukan misi mendeteksi dan memadamkan api secara *fully autonomous*.

1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dari judul **Perbandingan Karakteristik Sensor UVTron dan Photodioda sebagai Pendeteksi Titik Api pada Wahana Terbang *Vertical Take-Off Landing* (VTOL) Berbasis Mikrokontroler** adalah: pada umumnya sistem deteksi api pada robot digunakan di dalam ruangan dan jarak jangkauan dalam mendeteksi api yang terbatas. Untuk itu penulis membandingkan penggunaan sensor UVTRon dan photodioda sebagai sistem deteksi api yang dapat diimplementasikan dalam wahana terbang VTOL yang praktis dan tidak menambah beban komputasi pada wahana terbang itu sendiri karena menggunakan mikrokontroler dan sumber tegangan yang terpisah dari wahana terbang VTOL itu sendiri.

1.3 Pembatasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian ini tidak terlalu luas dan keluar dari topik yang telah ditentukan, maka penulis membatasi permasalahan sebagai berikut:

1. Penelitian ini berfokus kepada perancangan sistem pendeteksi api yang diimplementasikan pada wahana terbang VTOL.
2. Pembahasan mengenai karakteristik dan keakurasian dari sensor UVTron dan photodioda dalam mendeteksi api.
3. Pengolahan data dari sensor UVTron dan photodioda menggunakan mikrokontroler Arduino Nano.
4. Sistem deteksi api ini disimulasikan diluar ruangan (*outdoor*).
5. Tidak membahas sistem kontrol pada wahana terbang VTOL.

1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membuat sistem deteksi api pada wahana terbang VTOL menggunakan sensor UVTron dan photodioda berbasis mikrokontroler Arduino Nano.
2. Bagaimana tingkat keakurasian sensor UVTron dan photodioda dalam mendeteksi titik api pada wahana terbang VTOL.

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membuat sistem deteksi api pada wahana terbang VTOL menggunakan sensor UVTron dan photodioda berbasis mikrokontroler Arduino Nano.
2. Mengetahui tingkat keakurasian sensor UVTron dan photodioda dalam mendeteksi titik api pada wahana terbang VTOL.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Sistem deteksi api menggunakan sensor UVTron dan photodioda ini dapat diimplementasikan pada wahana terbang VTOL.
2. Sebagai rujukan bagi peneliti lain yang akan melakukan pengembangan atau penelitian selanjutnya.

1.7 Penegasan Istilah

Untuk menghindari pembahasan yang meluas serta menghindari kesalah pahaman pembaca dalam memahami istilah yang dipakai dalam skripsi ini, maka perlu dibuat penjelasan terhadap istilah-istilah berikut ini:

1. Wahana Terbang VTOL Tanpa Awak

Wahana terbang *VerticalTake-Off Landing* (VTOL) merupakan wahana terbang tanpa awak yang tidak memerlukan landasan pacu yang luas untuk melakukan *take off* dan *landing* secara vertikal, sehingga memudahkan dalam pengoperasiannya. Wahana VTOL ini dirancang untuk dapat terbang secara *fully*

autonomous mengikuti titik *waypoint* dengan ketinggian yang telah ditentukan pada *mission planner* untuk memadamkan titik-titik api di suatu kawasan datar.

2. Mikrokontroler Arduino

Mikrontroler itu sendiri adalah *chip* atau IC *(Integrated Circuit)* yang dapat diprogram menggunakan komputer. Mikrokontroler ini bertugas untuk mengendalikan *input, process,* dan *output* sesuai dengan program yang telah diberikan. Sedangkan Arduino sendiri merupakan papan elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama, yaitu sebuah *chip* mikrokontroler Atmega328 dari jenis AVR dari perusahaan Atmel (Muhammad Syahwil, 2014: 60).

3. Sensor

D Sharon, dkk (1982 dalam Zona Elektro 2013), menjelakan bahwa sensor adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi gejala-gejala atau sinyal-sinyal yang berasal dari perubahan suatu energi seperti energi listrik, energi fisika, energi kimia, energi biologi, energi mekanik dan sebagainya.

4. Karaketeristik Sensor Api

Karakteristik sensor api dapat ditentukan dari sejauh mana sensor tersebut memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi keberadaan api. Kemampuan mendeteksi api meliputi (http://zonaelektro.net/sensor):

a. Sensitivitas, yaitu ukuran seberapa jauh kepekaan sensor tehadap cahaya api yang dideteksinya.
b. Tanggapan waktu atau *respon time,* yaitu seberapa cepat tanggapan yang dibutuhkan sensor untuk memberikan respon terhadap cahaya api yang

dideteksinya. Semakin cepat waktu *respond* dan waktu *recovery* maka semakin baik sensor tersebut.

c. Stabilitas dan daya tahan, yaitu sejauh mana sensor dapat secara konsisten memberikan besar sensitivitas yang sama terhadap cahaya, serta seberapa lama sensor tersebut dapat terus digunakan.

1.8 Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika penulisan skripsi merupakan metode penulisan yang digunakan untuk memudahkan pemahaman tentang struktur penulisan dan isi skripsi. Pada sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari tiga bagian utama yaitu:

1. Bagian Awal Skripsi

Pada bagian pertama skripsi ini berisi halaman judul, persetujuan pem-bimbing, halaman pengesahan, halaman pernyataan, motto dan persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar, daftar tabel dan daftar lampiran.

2. Bagian Isi Skripsi

Pada bagian ini terdiri dari 5 (lima) bab yaitu:

BAB I Pendahuluan, pada bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan skripsi.

BAB II Kajian pustaka dan landasan teori, bab ini berisi tentang kajian pustaka mengenai landasan teori dari penelitian skripsi ini.

BAB III Metode penelitian, berisi tentang tempat pelaksanaan diadakannya penelitian, alat dan bahan yang digunakan, perancangan alat, prinsip kerja alat, dan metode pengambilan data penelitian.

BAB IV Hasil penelitian dan pembahasan, pada bab ini berisi tentang hasil-hasil dari penelitian dan pembahasan dari penelitian.

BAB V Penutup, bab penutup terdiri dari kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

3. Bagian Akhir Skripsi

Pada bagian akhir ini berisi daftar pustaka dan lampiran-lampiran.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian tentang topik robot pendeteksi api dengan menggunakan bermacam-macam jenis sensor telah banyak dilakukan, menurut fokus dan kajian masing-masing. Salah satu cara untuk mengetahui ada atau tidaknya api adalah dengan cara mendeteksi sifat-sifat yang dimiliki oleh api. Sifat dari api ini diantaranya adalah menghasilkan panas, cahaya (gelombang ultraviolet), dan berbagai hasil reaksi kimia lainnya. Secara umum sensor yang biasa digunakan untuk mendeteksi api adalah sensor TPA81, sensor LM35, LDR, dan lain-lain.

Marjuni (2015) dalam penelitiannya merancang dan membuat alat pendeteksi kebakaran pada sebuah ruangan menggunakan sensor *infrared*. Sistem ini bekerja ketika sensor api medeteksi adanya sumber api yang berupa titik api. Dari pengujian yang telah dilakukan, sensor *infrared* dapat mendeteksi api hingga jarak 10 cm dan dalam penggunaannya sensor *infrared* tidak boleh terlalu dekat dengan api karena dapat merusak sensor.

Tawfiqur Rakib dan M. A. Rashid Sarkar (2016) merancang robot pendeteksi api dengan menggunakan sensor LM35 dan Arduino *flame sensor.* Jika api telah terdeteksi oleh Arduino *flame sensor*, maka robot akan bergerak kearah dimana api itu terdeteksi. Sensor LM35 berfungsi untuk mengidentifikasi kenaikan suhu sekitar ketika robot telah mendekati sumber api dan mengatur jarak aman terhadap api. Dari beberapa kali pengujian yang telah dilakukan robot dapat

mendeteksi api secara maksimal pada malam hari dimana sensor api tidak terpengaruh oleh sinar infra merah dari matahari.

Pada penelitiannya, Alfith (2016) mengembangkan *prototype* robot pemadam api beroda dengan penambahan pada *hardware* yaitu sensor api TPA 81 sebagai modul pendeteksi api di dalam ruangan. Setelah dilakukan pengujian, sensor TPA 81 dapat mendeteksi api lilin pada jarak 2 meter dan tidak terpengaruh oleh cahaya ruangan.

Rata-rata sensor tersebut digunakan di dalam ruangan dan masih memiliki beberapa kelemahan, yaitu jarak dan sudut deteksi api yang terbatas, kurang responsif, dan kurang akurat sehingga dibutuhkan sebuah sistem yang dapat memperbaiki kelemahan tersebut. Pada penelitian ini akan dibandingkan keefektifan dan keakurasian dari kedua sensor api yaitu UVTron dan photodioda dalam mendeteksi api jika diimplementasikan pada wahana terbang VTOL.

Wahyu Sapto Aji (2009) dalam penelitiannya mengembangkan purwarupa robot beroda yang menggunakan sensor ultrasonik dan UVTron untuk dapat menyusur, mendeteksi, dan memadamkan api di dalam sebuah ruangan. Dari pengujian yang telah dilakukan, robot dapat menyusuri ruang tanpa menabrak dinding dengan menggunakan sensor ultrasonik. Sensor UVTron mampu mendeteksi api dengan baik hingga jarak 5,5 meter dengan posisi sensor tepat berada di depan lilin. Untuk menentukan titik *absolute* pada lilin, maka sensor UVTron diberikan pelindung. Rata-rata waktu yang ditempuh robot untuk dapat mendeteksi api adalah 11 menit 57 detik dengan pengujian yang dilakukan sebanyak 10 kali.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Penelitian tentang sensor UVTron sebagai pendeteksi api juga dilakukan oleh Darwison dan Rian Wahyudi (2015) dengan membuat kontrol kecepatan (melibatkan sensor ultrasonik untuk deteksi jarak dan sensor UVTron untuk deteksi api) robot *hexapod* dengan memakai Arduino Mega 2560 yang sudah ditanamkan program kecepatan memakai metode *fuzzy logic* sehingga menghasilkan pergerakan kecepatan robot *hexapod* yang lebih halus. Pada pengujian didapatkan jarak terjauh yang dapat dideteksi oleh sensor UVTron adalah 5 meter.

Selain sensor UVTron, sensor photodioda merupakan salah satu sensor yang dapat digunakan sebagai sensor pendeteksi api. Penggunaan sensor photodioda sebagai pendeteksi keberadaan api didasarkan pada fakta bahwa photodioda peka terhadap cahaya yang dipancarkan oleh api. Nilai resistansi dari photodioda akan berubah-ubah sesuai dengan intensitas cahaya yang ditangkapnya. Semakin banyak cahaya yang diterima maka semakin kecil resistansi dari photodioda dan sebaliknya jika semakin sedikit intensitas cahaya yang diterima oleh sensor photodioda maka semakin besar nilai resistansinya (Trianjaswati, 2013).

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Berdasarkan pelitian sebelumnya, maka dalam penelitian ini akan dirancang dan dibuat sistem deteksi api pada wahana terbang VTOL menggunakan sensor UVTron dan sensor photodioda. Dari kedua sensor tersebut akan dianalisis keakurasian sensor dalam mendeteksi api dan dibandingkan sensor yang lebih baik dalam mendeteksi api.

Dalam bagian landasan teori akan diuraikan kerangka teoritis untuk membahas permasalahan yang telah dirumuskan dalam penelitian, meliputi perancancangan dan pembuatan sistem deteksi api pada wahana terbang VTOL dengan menggunakan sensor photodioda dan UVTron.

2.2. Landasan Teori

2.2.1 Pengertian Wahana Terbang VTOL

Wahana terbang *Vertical Take-Off Landing* (VTOL) merupakan salah satu jenis dari pesawat tanpa awak atau *Unmand Aerial Vechile* (UAV) dan sesuai dengan namanya wahana terbang VTOL ini dapat lepas landas dan melakukan pendaratan secara vertikal, sehingga tidak memerlukan landasan pacu yang cukup luas seperti gambar 2.1. Pengertian UAV sendiri merupakan kendaraan udara tanpa awak (pilot pengendali) di dalamnya (Wisnu Jatmiko, dkk, 2012: 107). Pesawat ini dapat dikendalikan secara otomatis melalui program komputer yang telah dirancang, atau melalui kendali jarak jauh menggunakan *remote control*.

Gambar 2.1 *Drone*

(Sumber: http://www.dji.com)

Berdasarkan jenisnya, wahana tanpa awak ini dibagi menjadi 2 tipe yaitu *fixed wing* dan *rotary wing* (M. Yusuf Tamtomi, 2016). *Fixed wing* memiliki bentuk seperti pesawat terbang biasa yang dilengkapi dengan sayap seperti gambar 2.2. Tipe *fixed wing* memerlukan desain aerodinamika pada sayap dan badannya sehingga perancangan dan pembuatannya cukup rumit. Sedangkan *rotary wing* adalah jenis wahana terbang tanpa awak yang memanfaatkan putaran baling-baling untuk terbang. Tipe *rotary wing* dibagi lagi menjadi dua yaitu *single rotor* dan *multi rotor*. Tipe *single rotor* berbentuk seperti helikopter menggunakan baling-baling tunggal, sedangkan *multi rotor* menggunakan 3 sampai 8 baling-baling (Emirul Bahar) dan gambar 2.3 merupakan contoh *drone* jenis*multicopter*.

Gambar 2.2 Bentuk *Fixed Wing Drone*
(Sumber: http://www.diytrade.com)

Gambar 2.3 Bentuk *Multicopter Drone*
(Sumber: http://www.dji.com)

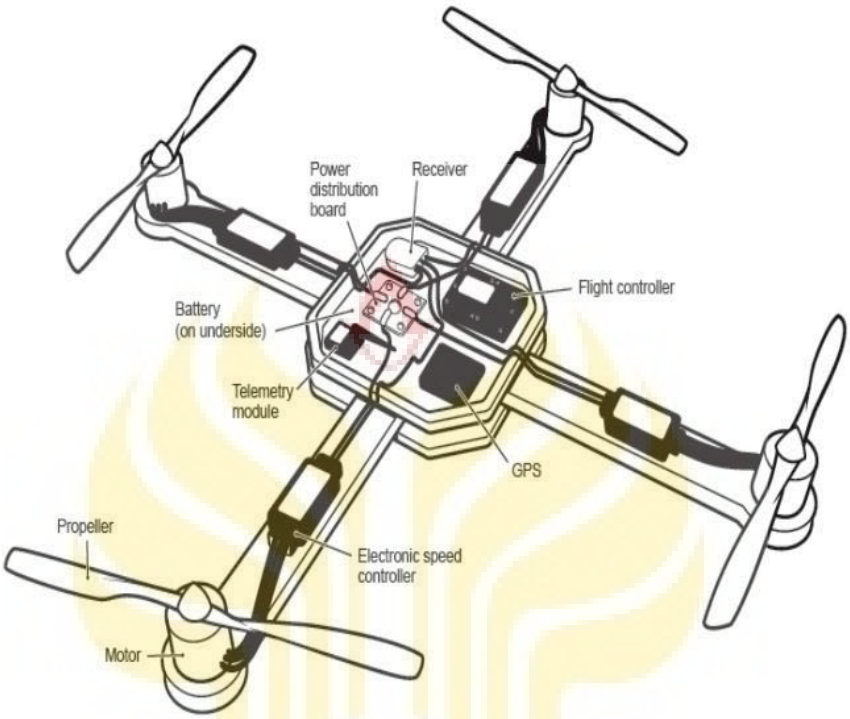
Adapun dalam penelitian ini akan dibahas mengenai penggunaan sistem deteksi api yang diimplementasikan pada wahana terbang VTOL tipe *rotary wing* dengan 4 baling-baling atau sering dinamakan *quadcopter. Quadcopter* merupakan sebuah pesawat tanpa awak yang memiliki empat buah baling-baling (*propeller*) dan empat buah motor *brushless* yang berfungsi sebagai *actuator* (penggerak) yang dikendalikan oleh *flight controller* agar pesawat dapat terbang dengan stabil (Ida Bagus Alit Swamardika, 2014).

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2.2.1.1 Komponen Pembentuk *Quadcopter*

Seperti robot pada umumnya, *quadcopter* terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Pada komponen piranti keras, terdiri dari sistem mekanik dan elektronik. Pada sistem elektronik, *quadcopter* dibentuk oleh beberapa rangkaian elektronik, seperti sensor, motor *driver* dan

mikrokontroler. Secara umum *quadcopter* terbentuk dari beberapa komponen elektronik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Bagian-Bagian dari *Quadcopter*
(Emirul Bahar)

Untuk lebih jelasnya, komponen dasar dari sebuah *quadcopter* terdiri dari:

1. Motor *Brushless*

   Motor *Brushless* adalah bagian yang menggerakkan baling-baling. Tipe motor yang digunakan merupan *motor brusless / outrunner type motor* (yang berputar bagian luar). Motor ini biasanya tersedia dalam ukuran dimensi motor dan kekuatannya dalam satuan kv atau rpm/v. Pemilihan motor disesuaikan dengan *propeller* dan ESC yang digunakan. Semakin besar satuan kekuatannya maka semakin besar pula daya yang diperlukan.

2. *Electronic speed controller* (ESC)

   ESC merupakan rangkaian elektronik yang berfungsi sebagai sebagai pengatur kecepatan putaran motor pada wahana terbang dengan cara menterjemahkan sinyal yang diterima *receiver* dari *transmitter.* Untuk menentukan ESC yang akan digunakan sangatlah penting untuk mengetahui kekuatan (*peak current*) dari motor. Sebaiknya ESC yang digunakan memiliki *Peak Current* yang lebih besar dari *motor brushless* yang digunakan.

3. *Propeller*(Baling-Baling)

   Propeller atau baling-baling adalah pasangan untuk motor. Baling-baling ini mengkonversikan gerakan rotasi menjadi daya dorong untuk menggerakkan wahana terbang. Sebuah *propeller* berperan sebagai sayap berputar dan memproduksi gaya yang mengaplikasikan Prinsip *Bernoulli* dan Hukum gerak *Newton,* menghasilkan sebuah perbedaan tekanan antara permukaan depan dan belakang. Ada dua jenis *propeller* yaitu *Clock Wise* (CW) / searah jarum jam dan *Counter Clock Wise* (CCW) / berlawanan arah jarum jam.

4. *Flight controller*

   Flight Controler (FC) merupakan otak dari *multicopter*. Komponen ini merupakan komponen penting *multicopter* dan menentukan apa saja fitur dari *multicopter* tersebut.

5. *Inertial Measurement Unit* (IMU)

   IMU merupakan sensor yang berfungsi untuk menghitung percepatan serta orientasi arah pergerakan dari wahana terbang dengan menggunakan kombinasi sensor *accelerometer* dan *gyroscope*. Dengan adanya IMU, wahana

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

terbang bisa menghitung dan mengetahui pergerakan yang dilakukannya, sehingga dapat membantu wahana terbang untuk mengetahui posisi serta lintasan yang dilaluinya tanpa menggunakan GPS (misalkan ketika tidak mendapatkan sinyal GPS).

6. *Global Positioning System* (GPS)

   GPS adalah sistem navigasi dengan menggunakan satelit. Sistem ini dikelola oleh pemerintah Amerika Serikat dan bebas diakses oleh siapa saja. Sensor ini bekerja dengan menerima data yang berisi waktu dan posisi ketika data dikirimkan, melalui sinyal yang dipancarkan oleh satelit GPS. Dengan menerima data dari tiga satelit dengan posisi yang berbeda, data navigasi dapat dihitung secara *realtime*. Data navigasi dapat berupa posisi, arah, dan kecepatan pergerakan yang sedang terjadi.

7. Baterai

   Baterai adalah sumber daya yang digunakan untuk wahana terbang. Baterai yang sering digunakan adalah jenis baterai LiPo (*Lithium Polimer*). Kelebihan yang dimiliki dari beterai ini adalah bobot yang ringan dan tersedia dalam berbagai macam bentuk dan ukuran, kapasitas penyimpanan energi listrik yang besar, dan tingkat *discharger rate* energi yang tinggi.

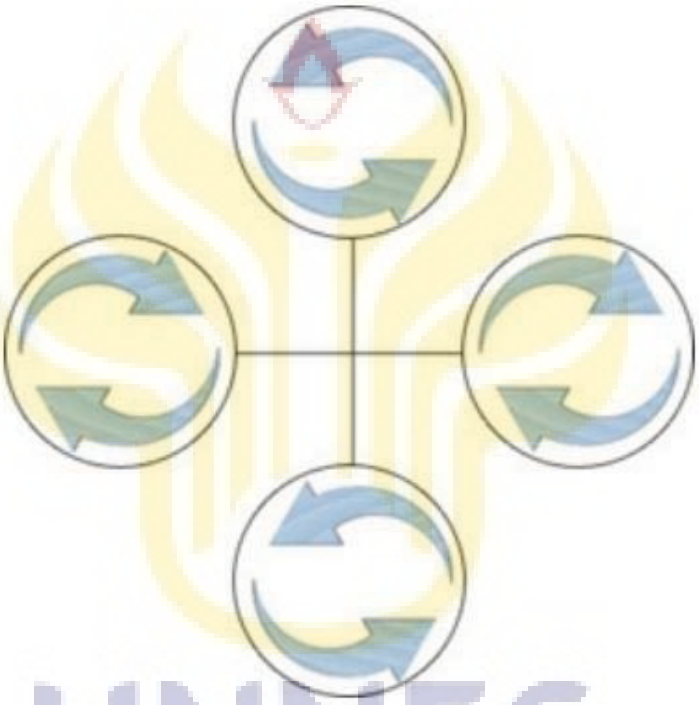
8. Telemetri

   Telemetri merupakan alat yang berfungsi untuk mengirimkan dan menerima data melalui sinyal radio. Telemetri ini terbagi menjadi dua bagian, salah satu berada di darat dan salah satunya terpasang pada wahana terbang.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2.2.1.2 Prinsip Kerja *Quadcopter*

Dari gambar 2.5 dapat diketahui arah putar dari masing-masing *propeller quadcopter*. Baling-baling bagian depan dan belakang *quadcopter* bergerak berlawanan arah jarum jam, sedangkan baling-baling bagian kiri dan kanan bergerak searah jarum jam.



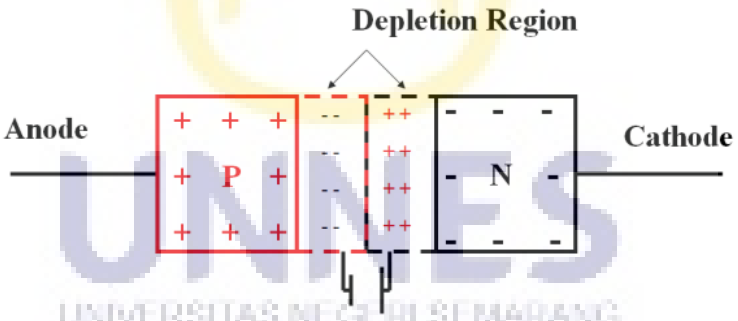
Gambar 2.5 Arah Putaran Baling-Baling *Quadcopter*
(Wisnu Jatmiko, 2012: 112)

Untuk dapat melakukan pergerakan tertentu *quadcopter* memiliki ketentuan tersendiri terhadap variasi kecepatan perputaran setiap baling-balingnya. Agar dapat bergerak naik dan stabil, *quadcopter* perlu menggerakkan keempat baling-balinya dengan kecepatan yang sama. Setiap pasangan baling-baling memiliki arah gaya dorong yang memiliki fungsi berbeda, satu pasang sebagai pendorong (*pusher*) dan satu pasang sebagai penarik (*puller*). Dengan

adanya pergerakan yang menghasilkan gaya dorong serta gaya tarik yang melawan gaya gravitasi tersebut, *quadcopter* dapat terbang melayang di udara dengan stabil (Wisnu Jatmiko: 112).

2.2.2 Sensor Photodioda

Sensor cahaya adalah komponen elektronika yang berfungsi mengubah suatu besaran optik (cahaya) menjadi besaran elektrik. Sensor cahaya berdasarkan perubahan elektrik yang dihasilkan dibagi menjadi dua jenis, yaitu fotovoltaik dan fotokonduktif. Salah satu sensor cahaya jenis fotokonduktif adalah sensor photodioda. Sensor photodioda dapat merespon stimulus berupa cahaya tampak maupun tidak tampak dan mengkonversi intensitas cahaya yang terdeteksi menjadi arus (Nurmalia Nasution, 2015). Photodioda merupakan piranti semikonduktor dengan struktur sambungan P-N.



Gambar 2.6 Struktur Sambungan Photodioda
(Sumber: http://www.electronics-tutorials.com)

Photodioda adalah suatu jenis dioda yang resistansinya akan berubah-ubah apabila terkena sinar cahaya. Resistansi dari photodioda dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diterimanya, semakin banyak cahaya yang diterima maka semakin kecil resistansi dari photodioda dan begitupula sebaliknya jika semakin

sedikit intensitas cahaya yang diterima oleh sensor photodioda maka semakin besar nilai resistansinya (Tri Anjaswati, 2013). Sensor photodioda sama seperti sensor LDR, mengubah besaran cahaya yang diterima sensor menjadi perubahan konduktansi (kemampuan suatu benda menghantarkan arus listrik dari suatu bahan). Seperti yang terlihat pada gambar 2.7 merupakan simbol dan bentuk fisik dari sensor photodioda.

Gambar 2.7 Simbol dan Bentuk Fisik dari Photodioda
(http://gudang-faisal.blogspot.co.id/2016/06/)

Photodioda terbuat dari bahan semikonduktor. Photodioda yang sering digunakan pada rangkaian elektronika adalah photodioda dengan bahan *Silicon* (Si), *Germanium* (Ge), *Indium Gallium Arsenida* (InAs), dan *Lead Selenide* (PbSe). Bahan-bahan ini menyerap cahaya melalui karakteristik jangkauan panjang gelombang. Tabel 2.1 menunjukkan bahan yang umum digunakan untuk membuat photodioda.

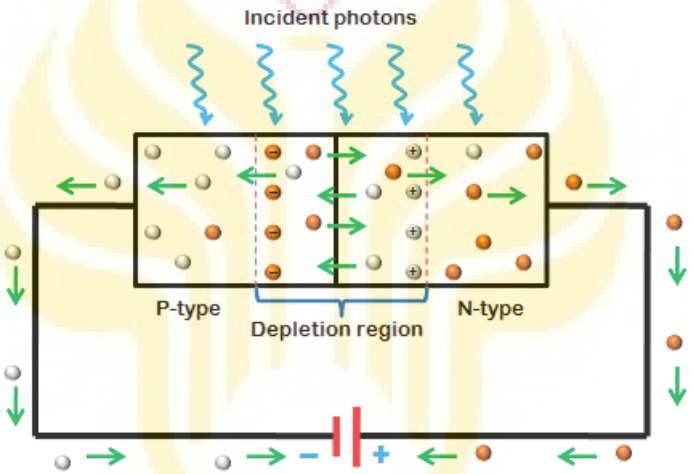
Tabel 2.1 Panjang Gelombang Photodioda Berdasarkan Bahan Pembuatnya

Bahan	Lebar Panjang Gelombang (nm)
Silicon	190 – 1100
Germanium	400 – 1700

Indium gallium arsenide	800 – 2600
Lead Selenide	< 1000 – 3500

2.2.2.1 Prinsip Kerja Photodioda

Sensor photodioda merupakan dioda yang peka terhadap cahaya, sensor photodioda akan mengalami perubahan resistansi pada saat menerima intensitas cahaya dan akan mengalirkan arus listrik secara *forward* sebagaimana dioda pada umumnya.



Gambar 2.8 Prinsip Kerja Photodioda
(Sumber: http://www.physics-and-radio -electronics.com)

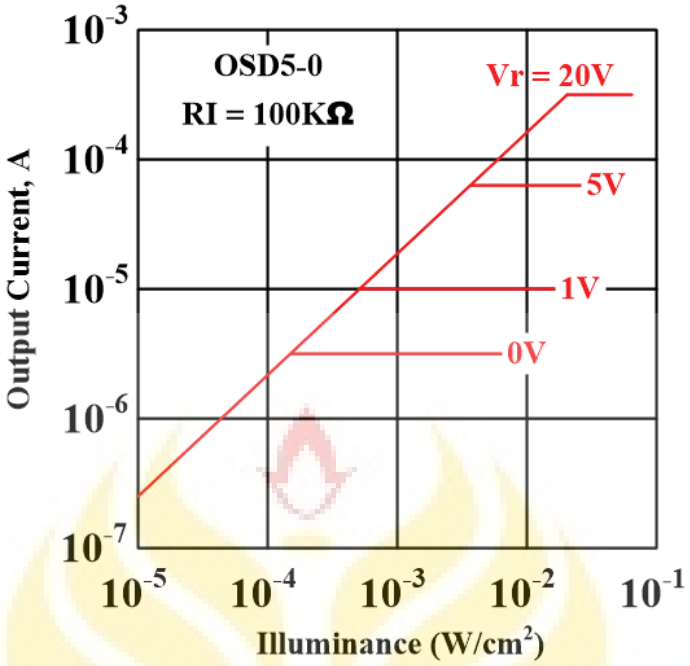
Ketika sebuah photon (satu satuan energi dalam cahaya) dari sumber cahaya diserap, hal tersebut membangkitkan suatu elektron dan menghasilkan sepasang pembawa muatan tunggal, sebuah elektron dan sebuah *hole*, di mana suatu *hole* adalah bagian dari kisi-kisi semikonduktor yang kehilangan elektron. Gerakan pembawa-pembawa muatan melintasi *junction* meninggalkan suatu lapisan pada setiap sisi yang kosong dari pembawa-pembawa muatan. Gambar *depletion region* ini seperti pada gambar 2.8. Pada sisi - N, *depletion region* terdiri

dari atom-atom impuriti donor yang telah kehilangan elektron bebas yang terikat dengan atom-atom itu dan telah menjadi bermuatan positif. Pada sisi - P, *depletion region* terdiri dari atom-atom impuriti akseptor yang telah menjadi bermuatan negatif dengan jalan kehilangan *hole* yang terkait dengan atom-atom itu (yaitu *hole* diisi elektron). Pada masing-masing sisi *junction*, jumlah atom impuriti yang sama terlibat di dalam *depletion region*. Bila dua blok bahan mempunyai kerapatan *doping* yang sama, lapisan-lapisan *depletion* pada masing-masing sisi *junction* mempunyai ketebalan yang sama.

Arah Arus yang melalui sebuah semikonduktor adalah kebalikan dengan gerak muatan pembawa. Cara tersebut di dalam sebuah photodioda digunakan untuk mengumpulkan photon dan menyebabkan pembawa muatan (seperti arus atau tegangan) mengalir/terbentuk di bagian-bagian elektroda. Photodioda digunakan sebagai penangkap gelombang cahaya yang dipancarkan oleh *infrared.* Besarnya tegangan atau arus listrik yang dihasilkan oleh photodioda tergantung besar kecilnya radiasi yang dipancarkan oleh *infrared* (Lilik Gunarto, 2011).

Photodioda akan mengalirkan arus yang membentuk fungsi linier terhadap intensitas cahaya yang diterima. Arus ini umumnya teratur terhadap *power density* (D_p). *Power density* (D_p) adalah jumlah daya (laju waktu perpindahan energi) per satuan volume. Perbandingan antara arus keluaran dengan *power density* disebut sebagai *current responsivity.* Arus yang dimaksud adalah arus bocor ketika photodioda tersebut disinari dan dalam keadaan dipanjar mundur. Hubungan antara keluaran sensor photodioda dengan intensitas cahaya ditunjukkan pada gambar 2.9 berikut.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



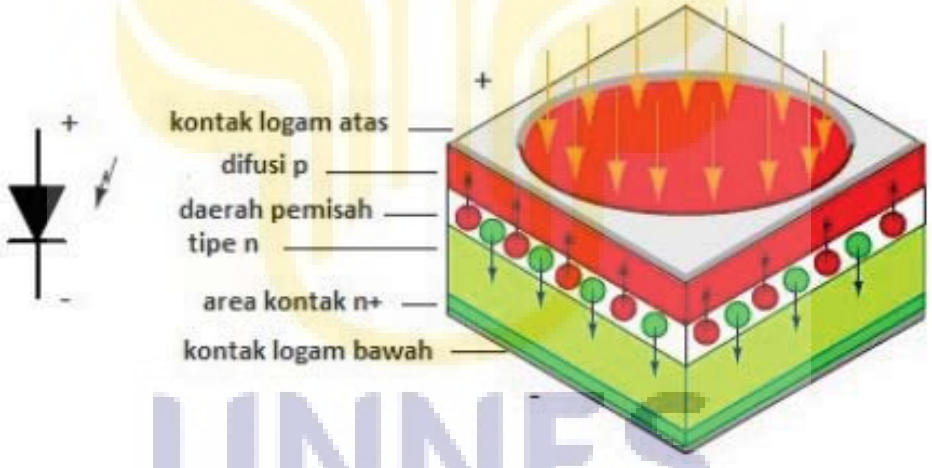
Gambar 2.9 Hubungan Keluaran Sensor Photodioda dengan Intensitas Cahaya (http://elektronika-dasar.web.id)

Tanggapan frekuensi sensor photodioda tidak luas. Cahaya yang dapat dideteksi oleh photodioda ini mulai dari cahaya infra merah, cahaya tampak, ultra ungu sampai dengan sinar-X. Dari rentang tanggapan itu, sensor photodioda memiliki tanggapan paling baik terhadap cahaya infra merah, tepatnya pada cahaya dengan panjang gelombang sekitar 0,9 μm (http://elektronikadasar.web.id/).

2.2.2.2 Karakteristik Photodioda

Photodioda adalah sebuah dioda yang dioptimasi untuk menghasilkan aliran elektron (atau arus listrik) sebagai respon apabila terpapar oleh sinar ultraviolet, cahaya tampak, atau cahaya infra merah. Kebanyakan photodioda dibuat dari silikon, tetapi ada juga yang dibuat dari germanium dan galium

arsenida. Daerah sambungan semikonduktor tipe P dan N tempat cahaya masuk merupakan lapisan tipis yang akan membuat cahaya bisa masuk ke daerah aktifnya (*active region*) atau daerah pemisahnya (*depletion region*) tempat dimana cahaya diubah menjadi pasangan elektron dan *hole*. Pada gambar 2.10 menjelaskan karakteristik dari photodioda yaitu lapisan tipe-P yang dangkal terdifusi ke lapisan jenis-N menghasilkan sambungan P-N didekat permukaan lapisan "wafer" tersebut. Lapisan tipe-P harus tipis sehingga bisa melewatkan cahaya sebanyak mungkin. Difusi tipe-N yang banyak ada di belakang lapisan "wafer" tersebut menempel dengan kontak logam.



Gambar 2.10 Penampang Melintang Photodioda
(Seumber: http://www.elkaasik.com)

Cahaya yang masuk ke bagian atas photodioda masuk ke dalam lapisan semikonduktor. Lapisan tipe-P yang tipis di atas membuat banyak foton melewatinya menuju daerah pemisah (*depletion region*) tempat dimana pasangan elektron dan *hole* terbentuk. Medan listrik yang tercipta di daerah pemisah menyebabkan elektron tertarik ke lapisan - N, sedangkan *hole* ke lapisan - P.

Sebenarnya, pasangan elektron dan *hole* bisa dibentuk pada semua daerah dari bahan semikonduktor. Namun, pasangan elektron dan *hole* yang tercipta di daerah pemisah akan terpisah ke daerah masing-masing yaitu daerah - P dan - N. Banyak pasangan elektron dan *hole* yang terbentuk di daerah - P dan - N mengalami rekombinasi. Hanya ada beberapa yang berekombinasi di daerah pemisah. Oleh karena itu, hanya ada sedikit pasangan *hole* dan elektron yang ada di daerah - N dan - P, dan pasangan elektron-*hole* di daerah pemisah adalah yang menyebabkan terjadinya arus listrik pada saat photodioda terkena cahaya (*photocurrent*).

Cahaya diserap di daerah penyambungan atau daerah intrinsik menimbulkan pasangan elektron-*hole* yang mengalami perubahan karakteristik elektris ketika energi cahaya melepaskan pembawa muatan dalam bahan itu, sehingga menyebabkan berubahnya konduktivitas. Hal inilah yang menyebabkan photodioda dapat menghasilkan tegangan/arus listrik jika terkena cahaya. Hal ini dapat ditunjukkan dengan persamaan 2-1 di bawah ini:

$$E = h \cdot f \qquad \text{Persamaan 2-1}$$

Dimana : E = energi foton (Joule)

h = konstanta Planck (6.624 x 10^{-34} J/s)

f = frekuensi (Hz)

h adalah suatu konstanta energi bergantung pada frekuensi gelombang cahaya yang merambat. Sebaliknya, frekuensi ditentukan dari panjang gelombang dari cahaya yang merambat sesuai dengan persamaan 2-2 di bawah ini:

$$\lambda = v/f \qquad \text{Persamaan 2-2}$$

Dimana : λ = panjnag gelombang (m)

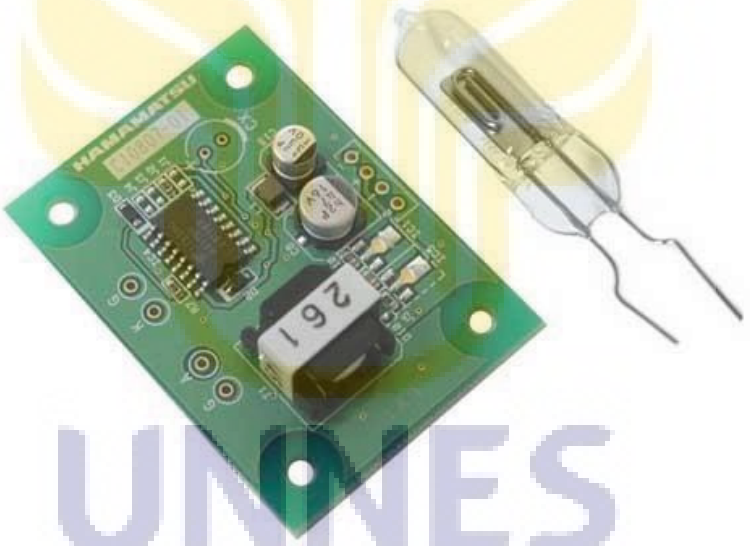
UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

v = kecepatan cahaya (3 x 10^8 m/s)

f = frekuensi gelombang cahaya yang merambat (Hz)

2.2.3 Sensor UVTron

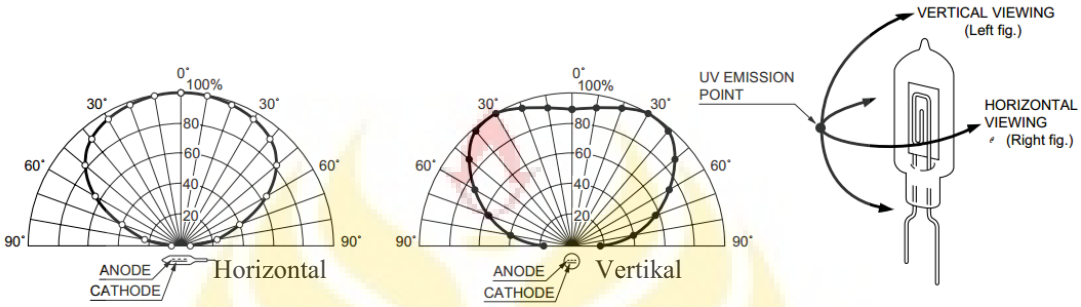
Sensor UVTron mampu mendeteksi api dengan cukup baik dan tidak terpengaruh oleh cahaya lain selain cahaya dari api. Untuk menghasilkan data *output* yang baik, sensor ini perlu dihubungkan ke *driver circuit* yang berfungi sebagai *filter* dari sensor UVTron tersebut. Bentuk fisik sensor ini dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Bentuk Fisik Sensor UVTron dan *Driver Circuit*C10807
(http://www.active-robots.com/uvtron-flame-detector-package)

Bentuk dari sensor UVTron ini seperti bohlam kecil atau tabung yang memiliki 2 kaki, yaitu Anoda (kaki lebih panjang) dan Katoda (kaki yang lebih pendek). Sensor ini memiliki sensitivitas angular yang lebar (diperlihatkan pada Gambar 2.12) sehingga dapat mendeteksi radiasi ultraviolet yang diemisikan dari

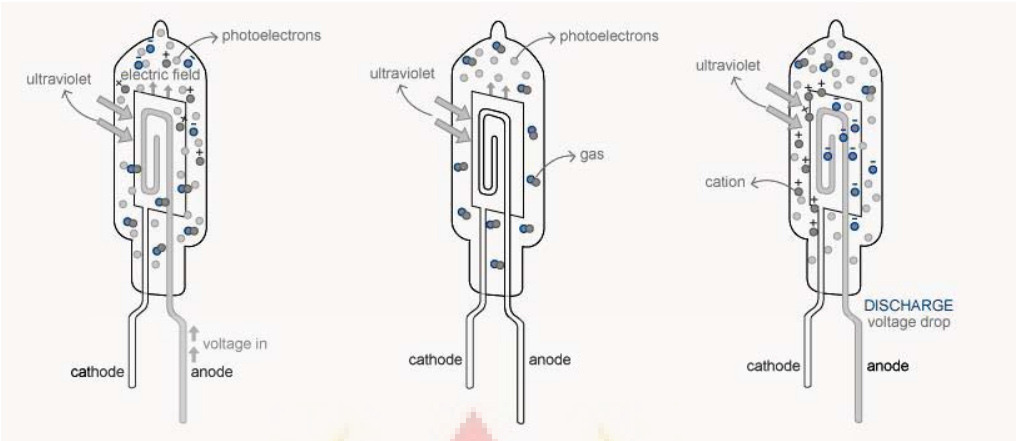
api tanpa terbatas oleh sudut deteksinya. Sensor ini dapat mendeteksi api pada jarak 5 meter. Bentuk keluaran dari sensor ini berupa pulsa. Semakin besar intensitas cahaya api yang diterima oleh sensor, maka semakin banyak pula jumlah pulsa yang dihasilkan.



Gambar 2.12 Sudut Deteksi Sensor UVTron
(*Datasheet* Hamamatsu *Flame Sensor*)

2.2.3.1 Prinsip Kerja Sensor UVTron

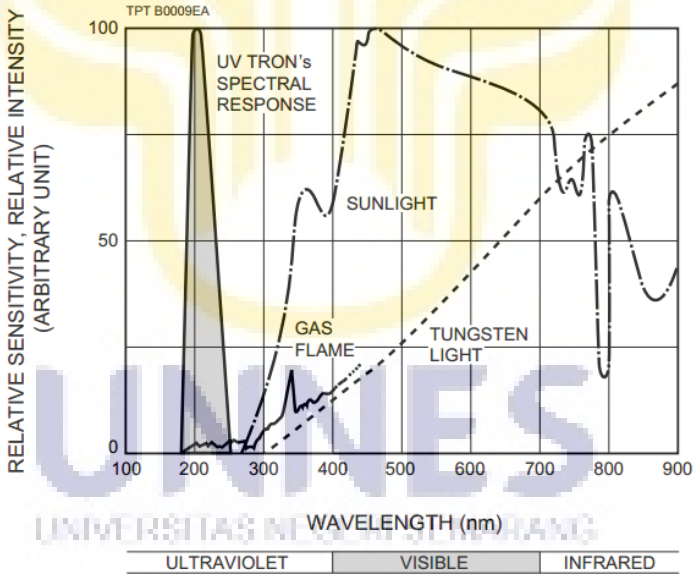
Tabung UVTron akan bekerja ketika pada katoda diberikan sinyal ultraviolet, fotoelektron akan dipancarkan dari katoda oleh efek fotoelektrik dan dipercepat ke anoda menggunakan medan listrik. Ketika tegangan diberikan, medan magnet meningkat, medan listrik semakin besar dan energi kinetik elektron menjadi besar untuk mengionisasi molekul gas ditabung untuk bertubrukan. Elektron yang dibangkitkan oleh ionisasi dipercepat yang membuat elektron mengionisasi molekul lainnya sebelum mencapai anoda. Ion positif yang dipercepat ke katoda dan bertubrukan menyebabkan elektron sekunder lainnya, kejadian inimenyebabkan arus yang cukup besar diantara elektroda dan terjadi pembuangan muatan (Toibah Umi Kalsum, 2013).



Gambar 2.13 Prisnsip kerja UVTron

(Sumber: http://www.neostormer.com/)

2.2.3.2 Karakteristik Sensor UVTron

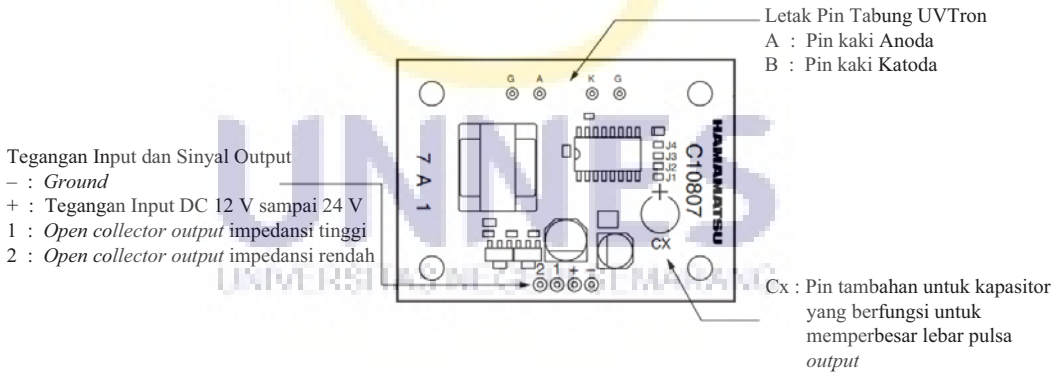


Gambar 2.14 Karakteristik Sensor UVTron

(*Datasheet* Hamamatsu *Flame Sensor*)

Gambar 2.14 menunjukkan karakteristik dari sensor UVTron adalah mendeteksi cahaya pada *range* 185 sampai 260 nm, dimana di area tersebut merupakan panjang gelombang ultraviolet dari emisi nyala api.

Agar sensor UVTron dapat terhubung pada sistem mikrokontroler, maka diperlukan rangkaian pengkondisian sinyal yaitu modul *driver* C10807 yang berfungsi mengubah respon dari UVTron menjadi pulsa yang dapat dikenali oleh sistem mikrokontroler. Pada modul ini, *power supply* 5 volt diubah menjadi 350 volt DC melalui bagian *Hight Voltage Converter* untuk mengaktifkan sensor UVTron. Sedangkan *Signal Processing Circuit* berfungsi untuk mengatur jumlah pulsa yang masuk dari sensor UVTron selama 2 detik yang akan direspon oleh C10807 menjadi pulsa selebar 10 ms. Keluaran dangan pulsa selebar 10 ms ini selanjutnya dapat dihubungkan langsung pada sistem mikrokontroler, sistem mikrokontroler akan mendeteksi adanya perubahan kondisi *input* dengan periode 10 ms sebagai indikasi adanya nyala api dalam area 5 meter (www.robotikindonesia.com). Berikut ini adalah penjelasan singkat dari rangkaian *driver* sensor UVTron berdasarkan *datasheet*:

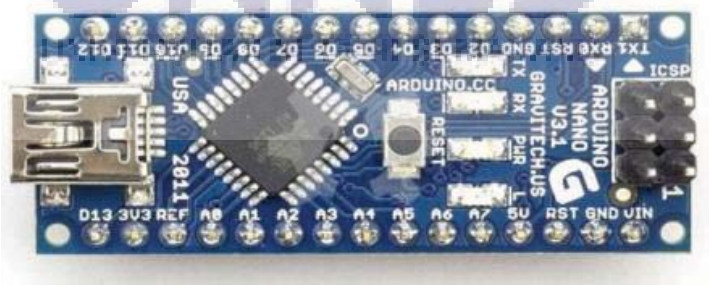


Gambar 2.15 *Driver* Sensor UVTron
(*Datasheet* Hamamatsu *Flame Sensor*)

2.2.4 Arduino Nano

Arduino adalah papan elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama, yaitu sebuah *chip* mikrokontroler Atmega328 dari jenis AVR dari perusahan Atmel (Muhammad Syahwil, 2014: 60). Mikrokontroler itu sendiri merupakan *chip* atau IC (*Integrated Circuit*) yang bisa diprogram menggunakan komputer. Pemograman pada mikrokontroler ini bertujuan agar rangkaian elektronik yang telah dibuat dapat membaca *input*, memproses, dan memberikan *output* sesuai dengan yang diinginkan.

Arduino Nano adalah *board* Arduino berukuran kecil, lengkap dan berbasis ATmega328 yang mempunyai kelebihan yang sama fungsional dengan Arduino jenis lain. *Development Board* Arduino Nano dapat diaktifkan melaui koneksi kabel Mini-B USB standar, atau melalui catu daya eksternal dengan tegangan yang belum teregulasi antara 6 – 20 volt yang dihubungkan melalui pin 30 atau pin Vin, atau melalui catu daya eksternal dengan tegangan teregulasi 5 volt melalui pin 27 (Muhammad Syahwil, 2014: 71). Spesifikasi dari Arduino Nano ini dapat dilihat pada tabel 2.2.



Gambar 2.16 Arduino Nano Tampak Depan

Gambar 2.17 Arduino Nano Tampak Belakang

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Nano

Mikrokontroler	ATmega328
Tegangan Operasi	5 V
Input Voltage (disarankan)	7 – 12 V
Pin Digital I/O	14 buah, 6 diantaranya menyediakan PWM
Pin Input Analog	6 buah
Arus DC per pin I/O	40 mA
Flash Memory	32KB, 0.5 KB telah digunakan untuk bootloader
SRAM	2 KB
EPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz
Dimensi	45 mm x 18 mm
Berat	5 g

2.2.4.1 Konfigurasi Pin Arduino Nano

Arduino Nano memilik 30 pin dan berikut ini adalah konfigurasi pin Arduino Nano:

1. VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan catu daya digital.
2. GND merupan pin ground untuk catu daya digital.
3. AREF merupakan referensi tegangan untuk input analog. Digunakan dengan fungsi analogReference().
4. RESET digunakan untuk me-*reset* (menghidupkan ulang) mikrokontroler. Biasanya digunakan untuk menambahkan tombol *reset* pada *shield* yang menghalangi papan utama Arduino.

5. Serial RX (0) merupakan pin yang berfungsi sebagai penerima TTL data serial.
6. Serial TX (1) merupakan pin yang berfungsi sebagai pengirim TT data serial.
7. External Interrupt (Interupsi Eksternal) merupakan pin yang dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah interupsi pada nilai yang rendah, meningkat atau menurun, atau perubahan nilai.
8. Output PWM 8-Bit merupakan pin yang berfungsi untuk analogWrite().
9. SPI merupakan pin yang berfungsi sebagai pendukung komunikasi.
10. LED merupakan pin yang berfungsi sebagai pin yang diset bernilai HIGH, maka LED akan menyala, ketika pin diset bernilai LOW maka LED padam. LED Tersedia secara *built-in* pada papan Arduino Nano.
11. Input Analog (A0-A7) merupakan pin yang berfungsi sebagi pin yang dapat diukur/diatur dari mulai Ground sampai dengan 5 Volt, juga memungkinkan untuk mengubah titik jangkauan tertinggi atau terendah mereka menggunakan fungsi analogReference().

Tabel 2.3 Konfigurasi Pin Arduino Nano

Nomor Pin Arduino Nano	Nama Pin Arduino Nano
1	Digital Pin 1 (Tx)
2	Digital Pin 0 (Rx)
3 & 28	Rest
4 & 29	GND
5	Digital Pin 2
6	Digital Pin 3 (PWM)
7	Digital Pin 4
8	Digital Pin 5 (PWM)
9	Digital Pin 6 (PWM)
10	Digital Pin 7
11	Digital Pin 8

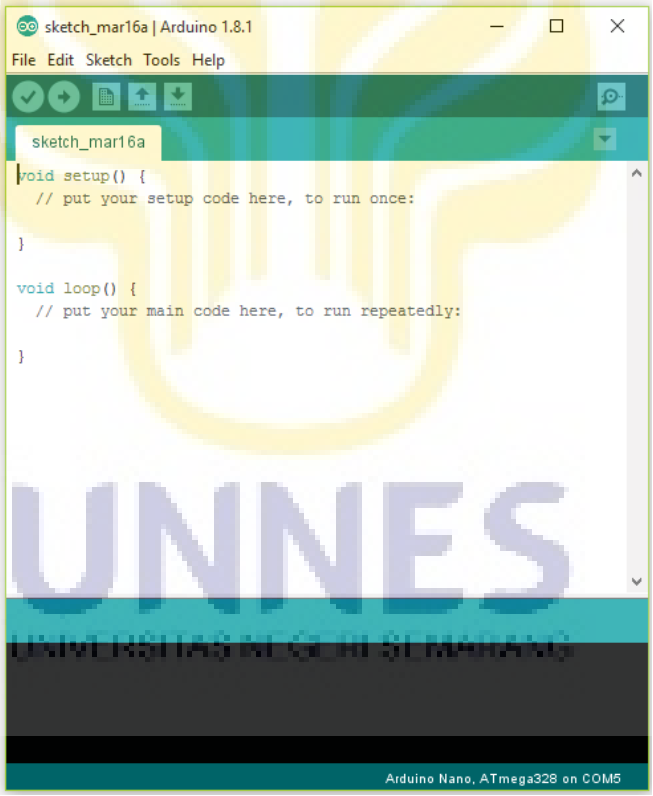
12	Digital Pin 9 (PWM)
13	Digital Pin 10 (PWM-SS)
14	Digital Pin 10 (PWM-MOSI)
15	Digital Pin 12 (MISO)
16	Digital Pin 13 (SCK)
18	AREF
19	Analog *Input* 0
20	Analog *Input* 1
21	Analog *Input* 2
22	Analog *Input* 3
23	Analog *Input* 4
24	Analog *Input* 5
25	Analog *Input* 6
26	Analog *Input* 7
27	VCC
30	Vin

2.2.4.2 Komunikasi pada Arduino Nano

Pada Arduino Nano ini terdapat komunikasi serial UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmiter*) sebesar 5 Volt yang tersedia pada pin digital 0 (Rx) dan pin digital 1 (Tx), sehingga dapat digunakan untuk berkomunikasi dengan komputer atau dengan mikrokontroler yang lainnya. *Chip* FTDI FT232RL berfungsi sebagai media komunikasi serial melalui USB *driver* FTDI (tersedia pada *software* Arduino IDE) yang akan menyediakan COM *Port Virtual* (pada *Device*komputer) untuk berkomunikasi dengan perangkat lunak pada komputer. Perangkat lunak pada Arduino terdapat serial monitor yang memungkinkan data tekstual sederhana dikirim data dari dan ke Arduino. LED Rx dan Tx akan berkedip ketika data sedang dikirim atau diterima melalui *chip* FTDI dan koneksi US yang terhubung melalui USB komputer (tidak untuk komunikasi serial pada pin 0 dan pin 1).

2.2.4.3 Pemograman

Pemograman *board* Arduino Nano dilakukan dengan menggunakan Arduino *software* yaitu *Integrated Development Environment* (IDE) yang dapat didownload secara gratis. Pada *software* Arduino IDE dapat dilakukan proses *compile* dan *upload* program yang telah dibuat ke dalam mikrokontroler Arduino. Bahasa yang digunakan adalah pustaka C++ yang berbasis pada Bahasa C untuk AVR (Muhammad Syahwil, 2014: 62). *Software* Arduino IDE ditunjukkan pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Tampilan Arduino IDE

Kode-kode program Arduino umumnya disebut dengan *sketch* dan bahasa pemogramannya menggunakan bahasa C. Secara sederhana, *sketch* dalam Arduino dikelompokan menjadi 2, yaitu setup dan loop.

1. Setup()

   Fungsi setup() hanya dipanggil satu kali ketika program pertama kali di jalankan. Fungsi setup digunakan untuk mendifinisikan mode pin atau memulai komunikasi serial. Fungsi setup() harus disertakan dalam program walaupun tidak ada statement yang dijalankan.

```
void setup()
{
    pinMode(3,OUTPUT);          // men-set pin 3 sebagai output
    pinMode(6, INPUT);          // men-set pin 6 sebagai input
    Serial.begin(9600);
}
```

   a. pinMode() berfungsi untuk mengatur fungsi dari pin sebagai INPUT ataupun OUTPUT.
   b. Serial.begin(9600) digunakan untuk mengaktifkan fitur UART dan melakukan inisialisasi.

2. Loop()

   Setelah fungsi setup() maka secara langsung akan melakukan fungsi loop() secara berurutan dan melakukan instruksi-instruksi yang ada dalam fungsi loop().

```
void loop()
{
    If (digitalRead(6)==HIGH)    // membaca input digital pin 6
    {
        digitalWrite (3, HIGH);  // nyalakan pin 3
        delay(1000);                     // jeda selama 1 detik
        digitalWrite(3, LOW)             // matikan pin 3
    }
}
```

a. digitalWrite(), berfungsi untuk memberikna nilai LOW atau HIGH pada sebuah pin OUTPUT.
b. delay, berfungsi untuk memberikan jeda dalam satuan mili detik.
c. digitalRead(), berfungsi untuk membaca nilai digital LOW atau HIGH dari sebuah pin INPUT.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Telah berhasil dirancang sistem deteksi api menggunakan sensor UVTron dan photodioda yang dapat diimplementasikan pada wahana terbang VTOL.
2. *Buzzer* yang berfungsi sebagai *output* dari sensor deteksi api dapat aktif ketika sensor mendeteksi adanya api.
3. Penggunaan pelindung pada sensor UVTron dapat mengurangi sudut jangkauan deteksi api. Semula sudut jangkauan sensor UVTron tanpa peindung adalah 180^0 dan setelah diberi pelindung menjadi 90^0.
4. Sensor UVTron tidak terpengaruh oleh cahaya dari luar baik dari lampu ataupun sinar matahari dan berbanding terbalik sensor photodioda peka terhadap cahaya.
5. Penggunaan pelindung pada sensor photodioda meningkatkan kemampuan sensor dalam mendeteksi, terbukti dengan rata-rata jarak sensor dapat mendeteksi api adalah 240 cm.
6. Tingkat keakurasian sensor yang cocok untuk diimplementasikan pada wahana terbang VTOL adalah sensor UVTron.

5.2 Saran

Sebagai sistem deteksi api yang diimplementasikan pada wahana terbang VTOL dirasa kurang maksimal dikarenakan dari kedua sensor tersebut memiliki kelebihan dan kelemehan masing-masing. Untuk itu diperlukan sasaran-sasaran atau tambahan ide-ide yang dapat membangun, mengembangkan, dan membuat sistem deteksi api pada wahana terbang VTOL ini lebih sempurna. Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka diajukan saran sebagai berikut:

1. Pada rangkaian UVTron dapat ditambahkan mikrokontroler Arduino Nano sebagai komunikasi dengan *drone.*
2. Jika ingin mendapatkan hasil maksimal berupa jarak jangkauan yang lebih jauh (> 5 meter) dapat menambahkan kamera yang memiliki resolusi yang tinggi dan tentunya diimbangi dengan *processor* yang mumpuni.
3. Sistem deteksi yang telah dibuat diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut oleh mahasiswa Universitas Negeri Semarang untuk bahan penelitian dan pengembangan selanjutnya dalam Kontes Robot Terbang Indonesia (KRTI) divisi *Vertical Take-Off Landing* (VTOL).

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, M. Fadhil. 2016. Implementasi Algoritma Pendeteksi Api Berdasarkan Komposisi Warna Citra Digital pada *Quadcopter* yang Bergerak Otomatis. *Jurnal Universitas Telkom*.

Aji, WahyuSapto. 2009. Purwarupa Robot Pemadam Api dengan Sensor Ultrasonik dan Ultraviolet Berbasis AT89S52. *Jurnal Telkomnika* 7(3): 207-212.

Alfith. 2016. Perancangan Robot Cerdas Pemadam Api dengan Sensor Thermal Array TPA 81 Berbasis Microcontroller Arduino Mega 2560. *Jurnal Tekin Elektri ITP* 5(2): 95-102.

Astharini, Dwi. 2013. Pengembangan Sistem Pendeteksi Lokasi Titik Api dalam Ruangan Terbatas. *Jurnal Al Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi* 2(2): 91-95.

Djuandi, Feri, 2011. *Pengenalan Arduino*. Jakarta: Penerbit Elexmedia.

Gunarto, Lilik. 2011. *Photodiode & Infra Red*. ttp://skp.unair.ac.id/repository/ Guru-Indonesia/PHOTODIODA&INFRAR_lilikgunarta_12443.pdf.1 Maret 2017 (15:10).

Hidayat, Latif. 2011. Perancangan Robot Pemadam Api Divisi Senior Berkaki. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika* 14(2): 112-116.

Jatmiko, Wisnu, dkk. 2012. *Robotika: Teori dan Aplikasi.* Fakultas Ilmu Komputer. Universitas Indonesia.

Kalsum, ToibahUmi. 2013. Robot Pendeteksi Api Menggunakan Bahasa Pemrograman Basic Stamp. *Jurnal Media Infotama* 9 (1):120-140.

Khakim, ArifLukman. 2015. Rancang Bangun Alat Timbang Digital Berbasis AVR Tipe ATmega32. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang.

Limbong, Albinur dan Natanael M. Latupeirissa. 2011. Perancangan Robot Pendeteksi Api Menggunakan Sensor Api Hamamatsu UV-Tron pada Mikrokontroler ATmega16. *Jurnal TelKa* 4 (1): 53-59.

Marjuni. 2015. Rancang Bangun Pema dan Api Menggunakan Sensor *Infrared* Berbasis Mikrokontroler ATmega8535. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa* 4 (1): 68-81.

Nasution, Nurmalia. 2015. Implementasi Sensor Fotodioda sebagai Pedeteksi Serapan Sinar Infra Merah pada Kaca. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika* 3 (2): 111-116.

Pandiangan, Johannes. 2007. Perancangan dan Penggunaan Photodioda sebagai Sensor Penghindar Dinding pada Robot Forklift. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara.

Panitia KRTI. 2016. *Buku Panduan KRTI 2016*. Jakarta: DIKTI.

Rakib, Tawfiqur & M. A. Rashid Sarkar. 2016. *Design and Fabrication of an Autonomous Fire Fighting Robot with Multisensor Fire Detection Using PID Controller. 5th International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)*. Bangladesh University of Engineering and Technology, Dhaka, Banghladesh. 909-914.

Saputra, Dendy Handy. 2016. Pembuatan Model Pendeteksi Api Berbasis Arduino Uno dengan Keluaran SMS Gateway. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*. Universitas Negeri Jakarta. 103-108.

Schroeder, Thomas, dkk. 2013. *Fast Detection of Deflagrations Using Image Processing. Institute of Automation Technology, Helmut Schmidt University / University of The German Armed Forces, Holstenhofweg, Bundeswehr Research Institute for Protective Technologies and NBC Protection, Humbolddtstrasse.* Germany.

Sugiyono. 2015. *Metode Penelitian & Pengembangan Research and Development*. Bandung: Alfabeta.

Suryatini, Fitria. 2013. Robot Cerdas Pemadam Api Menggunakan PING Ultrasonic *Range* Finder danUVTron Flame Detector Berbasis Mikrokontroler ATmega128. *Jurnal Electrans* 14 (1): 29-38.

Syahwil, Muhammad. 2014. *Spesifikasi Panduan Mudah Simulasi dan Praktek Mikrokontroler Arduino*. Yogyakarta: Andi Publisher.

Swamardika, Ida Bagus Alit. 2014. Hand Motion Control untuk Menggerakkan *Quadcopter* Robot dengan Menggunakan Sensor Accelerometer ADXL335 dan Wireless XBee-PRO Series 1 60 mW Berbasis Mikrokontroller ATmega32. *Jurnal Ilmiah Mikrotek* 1 (2): 47-54.

Tamtomi, M. Yusuf. 2016. Rancang Bangun Wahana Udara Tanpa Awak VTOL-UAV sebagai Wahana Identifikasi Dini Kondisi Udara Berbasis Video Sender. *Jurnal Electrician* 10(3): 192-204.

Zona Elektro. 2013. *Teori Sensor dan Karaketristik Sensor Elektronika*. http://zonaelektro.net/sensor. 10 Januari 2017 (09:29).

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG