

**PENGENDALI HAMA TIKUS DAN BELALANG MENGGUNAKAN GELOMBANG
ULTRASONIK BERTENAGA SURYA BERBASIS IOT**

MAKALAH SEMINAR HASIL

*Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*



Disusun oleh:

SANTI AJI DEWA MAYA
NPM. 21401053037

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM MALANG
MALANG

2021

LEMBAR PERSETUJUAN SEMINAR HASIL

PENGENDALI HAMA TIKUS DAN BELALANG MENGGUNAKAN GELOMBANG ULTRASONIK BERTENAGA SURYA BERBASIS IOT

MAKALAH SEMINAR HASIL

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Disusun oleh:

**SANTI AJI DEWA MAYA
NPM. 21401053037**

Diajukan dan Disahkan oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

M. Jasa Afroni, S.T., M.T., Ph.D.

Oktriza Melfazen, S.T., M.T.

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Jasa Afroni, S.T., M.T., Ph.D.
NIDN: 0725116902

PENGENDALI HAMA TIKUS DAN BELALANG MENGGUNAKAN GELOMBANG ULTRASONIK BERTENAGA SURYA BERBASIS IOT

Santi Aji Dewa Maya, 21401053037¹, M. Jasa Afroni², Oktriza Melfazen³

Universitas Islam Malang

santiaji6@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah purwarupa pengendali hama tikus dan belalang menggunakan gelombang ultrasonik bertenaga surya yang dilengkapi dengan kemampuan *internet of things* (IoT). Perangkat tersebut terdiri dari pendeteksi suara tikus menggunakan VR3 (*voice recognition module*), pembangkit gelombang ultrasonik, dan antarmuka baik menggunakan panel kendali (tombol dan LCD) maupun melalui IoT. Pada malam hari, perangkat berfungsi untuk mengusir hama tikus, dengan cara membangkitkan gelombang ultrasonik hanya jika suara tikus terdeteksi. Pada siang hari, perangkat berfungsi untuk mengusir hama belalang, dengan cara membangkitkan gelombang ultrasonik secara terus menerus, sementara panel surya mengisi daya baterai. Dari hasil pengujian didapatkan nilai akurasi deteksi suara tikus sebesar 47,6%, nilai *error* frekuensi pembangkitan sebesar 1,0%, dan antarmuka dengan operator yang berfungsi semua sesuai spesifikasi yang ditentukan. Panel surya dengan kemampuan 30 Wp rata-rata setiap harinya mampu memasok energi sebesar 92,074 Wh, sementara konsumsi perangkat setiap harinya rata-rata adalah 87,5 Wh, sehingga terdapat surplus energi 4,57 Wh setiap hari.

Kata kunci: sistem pengendali, hama tikus dan belalang, VR3, ultrasonik, IoT

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Budidaya tanaman padi merupakan hal yang sangat penting untuk menjamin ketahanan pangan masyarakat Indonesia. Padi merupakan sumber pangan pokok bagi masyarakat Indonesia. Kegagalan panen atau produksi padi yang semakin menipis dan berkurang akan mengakibatkan harga kebutuhan pokok menjadi naik. Salah satu masalah yang dapat mengurangi produksi padi adalah serangan hama belalang dan tikus.

Tikus merupakan hama yang sering kali menyusahkan para petani. Hal ini disebabkan tikus sulit dikendalikan karena memiliki daya adaptasi, mobilitas, dan kemampuan untuk berkembang biak yang sangat tinggi. Bagian tumbuhan yang diserang oleh tikus meliputi biji-bijian dan batang tumbuhan muda. Belalang sering dikategorikan sebagai hama dikarenakan seringnya belalang menyerang tanaman yang dibudidayakan oleh petani. Daya serang belalang sangat merugikan petani karena mampu merusak tanaman dalam waktu singkat. Bukan hanya menyerang daun, belalang juga menyerang batang tangkai tanaman.

Pengendalian hama tikus dan belalang bisa dilakukan dengan cara penyemprotan insektisida. Namun cara ini kurang begitu efektif dalam memberantas hama pada tanaman padi, selain pemakaian pestisida yang terlalu banyak juga dikhawatirkan berpengaruh pada kesehatan manusia.

Salah satu cara lain untuk mengatasi hama tikus dan belalang adalah dengan menggunakan ultrasonik. Ultrasonik adalah suara (gelombang akustik) dengan frekuensi di atas 20 kHz, yang terlalu tinggi untuk bisa didengar oleh telinga

manusia. Namun beberapa spesies seperti mamalia kecil dan serangga, termasuk tikus dan belalang, mampu mendengar suara ultrasonik tersebut. Sama seperti manusia yang akan terganggu dengan suara yang cukup keras, tikus dan belalang akan terganggu pula dengan suara ultrasonik dengan intensitas yang cukup keras, tetapi suara tersebut tidak berpengaruh pada manusia. Tikus memiliki rentang frekuensi pendengaran dari 5 kHz hingga 60 kHz, sementara belalang dari 5 kHz hingga 60 kHz.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dicoba membangun sebuah perangkat yang mendayagunakan suara ultrasonik untuk membuat tikus dan belalang merasa tidak nyaman dan mengusirnya. Penggunaan ultrasonik memiliki kelebihan, yaitu tidak meracuni tanaman dan tidak mengganggu manusia.

Perangkat yang akan dikembangkan dikendalikan oleh mikrokontroler untuk mendapatkan data dari sensor suara, melakukan aksi mengeluarkan suara ultrasonik dengan frekuensi tertentu, serta berkomunikasi dengan eksekusi dan monitoring jarak jauh melalui media *internet of things* (IoT). Diharapkan perangkat yang dikembangkan mampu untuk melakukan pengendalian hama tikus dan belalang dengan efektivitas, efisiensi, dan kemudahan pengoperasian yang relatif tinggi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas yang telah ditulis sebelumnya maka pada penelitian ini memiliki beberapa permasalahan yang akan diteliti:

1. Bagaimana perancangan perangkat pengendali hama tikus dan belalang menggunakan ultrasonik yang dinamis dan

terjadwal sehingga memiliki efektivitas tinggi.

2. Bagaimana melakukan eksekusi dan monitoring perangkat pengendali hama tikus dan belalang melalui IoT.
3. Bagaimana hasil pengujian operasional perangkat pengendali hama tikus dan belalang.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

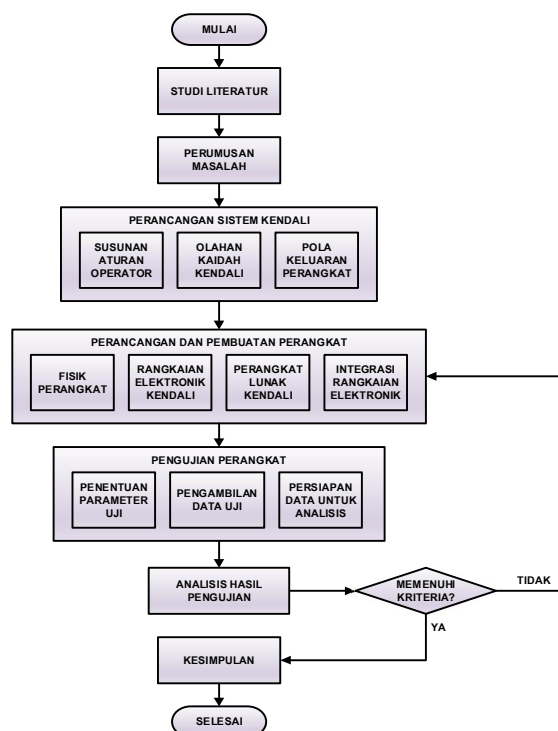
1. Mengembangkan perangkat pengendali hama tikus dan belalang menggunakan ultrasonik yang dinamis dan terjadwal.
2. Mengembangkan sistem eksekusi dan monitoring perangkat pengendali hama tikus dan belalang tersebut melalui IoT.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian, seperti ditunjukkan pada Gambar 1, dilakukan pada penelitian ini, yang meliputi:

1. Studi Literatur
2. Perancangan Sistem Kendali
3. Perancangan dan Pembuatan Perangkat
4. Pengujian Perangkat
5. Analisis Hasil Pengujian, dan
6. Kesimpulan

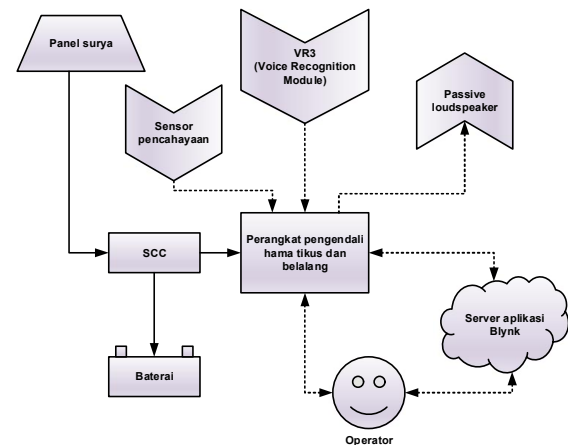


Gambar 1. Langkah-langkah penelitian.

2.2. Rancangan Umum

Sistem pengendali hama tikus dan belalang pada penelitian ini memiliki blok diagram seperti pada Gambar 2. Pada siang hari panel surya bekerja

memasok tenaga listrik yang diubah dari sinar matahari menuju ke *solar charge controller* (SCC).



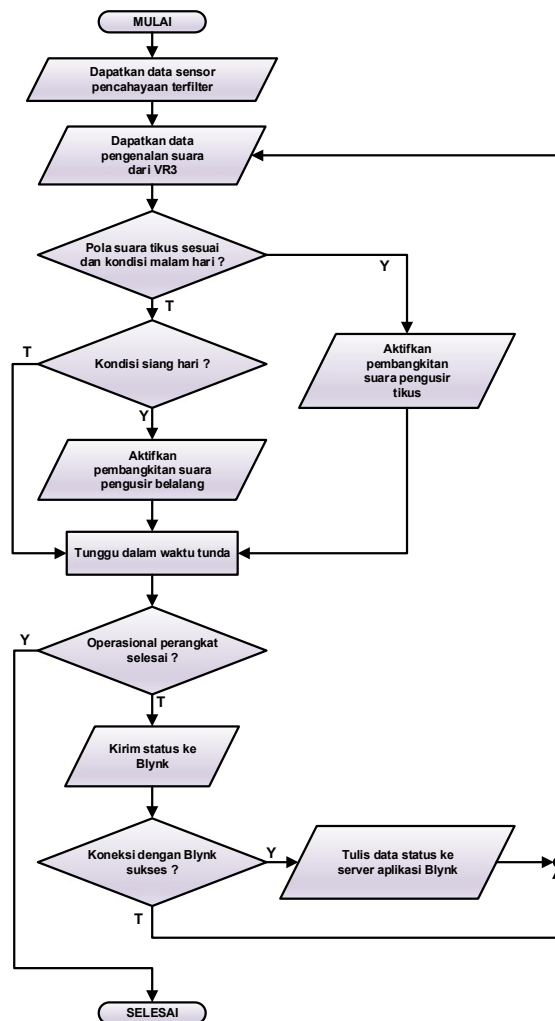
Gambar 2. Blok diagram perangkat pengendali hama tikus dan belalang.

Dari SCC, baterai mendapatkan pengisian daya, sekaligus mengatur arus listrik ke arah perangkat. Pada malam hari, baterai melakukan pasokan tenaga listrik ke perangkat. Pada saat ada hama tikus yang menghampiri, data sinyal suara dari tikus akan dikenali oleh modul VR3 (*voice recognition module*) yang akan menentukan apakah terdapat kesesuaian pola suaranya, dan selanjutnya mikrokontroler mengaktifkan *loudspeaker* untuk menghasilkan suara hingga frekuensi ultrasonik yang bervariasi guna mengusir hama tikus. Sedangkan untuk hama belalang, karena tidak dapat menghasilkan suara yang bisa dikenali, mikrokontroler akan secara periodik mengaktifkan *loudspeaker* untuk menghasilkan suara hingga frekuensi ultrasonik untuk mengusir hama belalang tersebut.

Operator bisa melakukan pengaturan dan monitoring dengan dua cara, yaitu secara langsung pada antarmuka perangkat, dan melalui antarmuka Blynk. Jika melalui antarmuka perangkat, operator bisa mengoperasikan tombol-tombol yang ada pada perangkat sekaligus mengamati monitor LCD. Sedangkan jika melalui Blynk, operator bisa mengoperasikan dengan cara membuka aplikasi Blynk dan melakukan operasi akses serta mengamati status dan beberapa operasi instruksi perangkat. Hal ini bisa dilakukan melalui perangkat telepon seluler ataupun perangkat tablet selama terdapat koneksi internet.

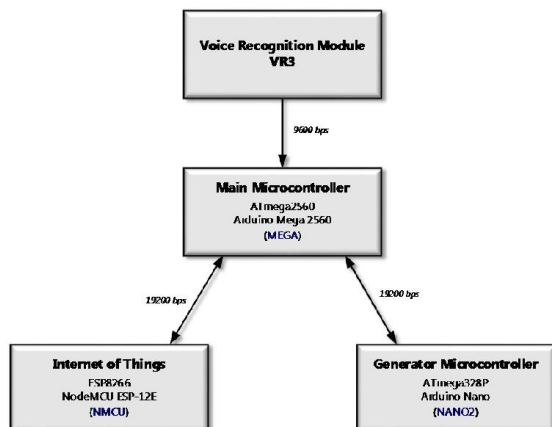
Pada Gambar 3 ditunjukkan diagram alur proses utama pada perangkat pengendali hama tikus dan belalang. Pada dasarnya, perangkat mengolah data suara yang didapatkan untuk menentukan kesesuaian pola suara tikus, kemudian jika ditemukan kesesuaian dan terdeteksi bahwa sedang dalam kondisi malam hari, maka *loudspeaker* akan dinyalakan untuk mengusir hama tikus. Jika terdeteksi kondisi siang hari, *loudspeaker* ultrasonik akan dinyalakan secara periodik untuk mengusir hama belalang. Penyalaan *loudspeaker* maupun

pengambilan data suara dilakukan dalam jeda waktu tertentu, untuk menghindari kerja mikrokontroler yang terlalu cepat dan menekan tingkat kegagalan karena salah deteksi.



Gambar 3. Diagram alur proses utama perangkat pengendali hama tikus dan belalang.

Struktur alur komunikasi antar ketiga mikrokontroler dan satu modul pengenalan suara ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Alur komunikasi antar mikrokontroler.

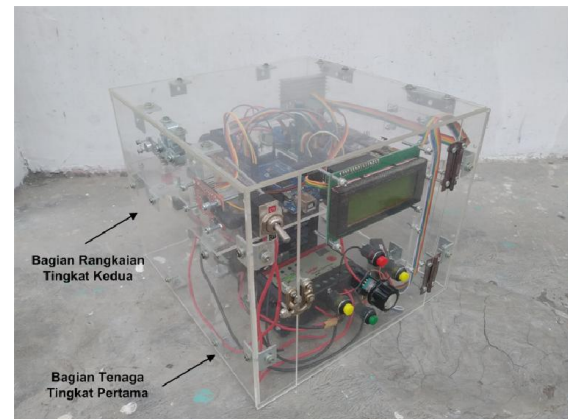
Mikrokontroler utama berkomunikasi dua arah berkecepatan 19.200 bps dengan mikrokontroler generator dan mikrokontroler IoT. Sedangkan modul VR3 hanya mengirimkan data hasil pengenalan suara dengan kecepatan 9.600 bps. Modul VR3 yang digunakan pada penelitian ini adalah modul pengenalan suara yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Mendukung hingga 80 perintah suara yang dapat direkamkan (dilatihkan), yang mana setiap suaranya memiliki durasi maksimal 1.500 ms.
2. Maksimal sebanyak 7 perintah suara yang dapat diaktifkan dalam satu waktu.
3. Antarmuka menggunakan *serial port* (UART) untuk semua fungsi atau GPIO untuk fungsi-fungsi yang terbatas.
4. Proses untuk melatih (*training*) setiap perintah suara dilakukan dua kali, sehingga menekan kemungkinan salah deteksi.
5. Terdapat mikrofon yang bisa dilepas dan diatur posisinya untuk melakukan pelatihan maupun operasional pengenalan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengembangan Perangkat

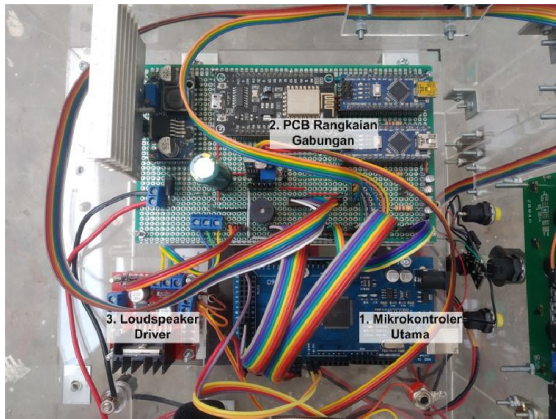
Sistem pengendali hama tikus dan belalang menggunakan ultrasonik yang telah dirancang dan dibangun berupa perangkat utama berbentuk kotak dengan ukuran 25×25×25 cm. Di dalam kotak tersebut terdapat dua tingkat, yaitu tingkat pertama yang merupakan bagian tenaga (*power*) serta tingkat kedua yang merupakan bagian rangkaian utama.



Gambar 5. Tampak depan kiri perangkat.

Seperti ditunjukkan oleh Gambar 5, pada bagian tenaga yang terletak di tingkat pertama, terdapat baterai dan SCC (*solar charge controller*). Pasokan tenaga ke SCC adalah dari panel surya dan dari baterai, yang mana secara otomatis diatur untuk memasok tenaga ke beban. Untuk keamanan lebih, pada saluran antara baterai dan SCC dipasang sebuah saklar. Panel surya tidak harus selalu terpasang, oleh karena itu pada bagian sebelah kiri kotak terdapat colokan yang bisa disambungkan ataupun diputuskan sewaktu-waktu dengan saluran

panel surya. Hal ini berguna jika sewaktu-waktu harus memindahkan perangkat yang harus dalam keadaan terpisah dengan panel surya.



Gambar 6. Bagian-bagian pada rangkaian utama.

Pada bagian rangkaian yang terletak di tingkat kedua, terdapat rangkaian utama dan tiga konektor eksternal. Rangkaian utama dibagi pada tiga bagian fisik, seperti ditunjukkan oleh Gambar 6, yang meliputi:

1. Mikrokontroler utama;
2. PCB rangkaian gabungan; dan
3. *Loudspeaker driver*.

Bagian mikrokontroler utama berdiri sendiri karena ukurannya yang cukup besar dan tidak bisa dipasang langsung dengan PCB. Pasokan tenaga dan komunikasi data mikrokontroler utama dilakukan menggunakan serangkaian kabel yang semuanya disambungkan dengan PCB rangkaian gabungan. Bagian PCB rangkaian gabungan adalah sebuah PCB yang dibuat untuk jalur-jalur elektrik antara konektor internalnya dengan tiga mikrokontroler yang terpasang.

Selain itu, juga terdapat jalur tenaga (yang berasal dari SCC), jalur menuju panel kendali (untuk komunikasi data dengan tombol dan layar peraga), dan jalur menuju sensor atau aktuator yang terpasang. Terdapat dua sensor yang terpasang pada PCB, yaitu sensor suara (mikrofon) dan sensor pencahayaan. Pada bagian ini juga terdapat pasokan daya dari SCC (12 VDC), yang dibagi untuk memasok daya mikrokontroler (12 VDC secara langsung dan 5 VDC menggunakan *voltage regulator*), dan pasokan daya untuk motor driver (2 VDC hingga 10 VDC menggunakan *variable buck converter*). Bagian *loudspeaker driver* adalah sebuah perangkat yang mampu melakukan transformasi tegangan searah menuju tegangan on-off. Bagian ini diperintah oleh mikrokontroler generator untuk memasok tegangan on-off dengan frekuensi tertentu pada *loudspeaker* untuk pembangkitan suara.

Tiga konektor eksternal pada bagian rangkaian meliputi:

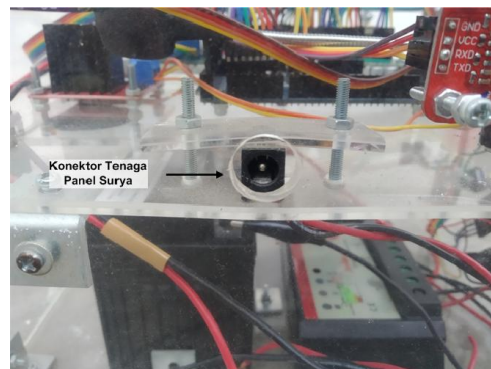
1. Konektor tenaga utama (Gambar 7);
2. Konektor tenaga panel surya (Gambar 8); dan

3. Konektor uji frekuensi pembangkitan (Gambar 9).



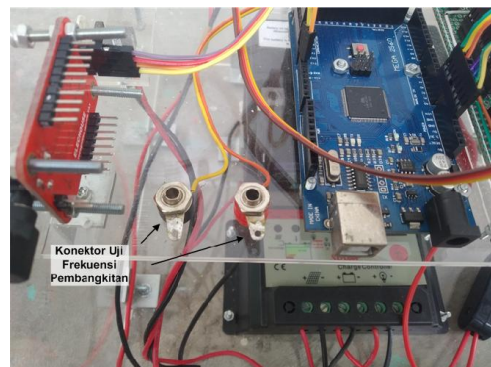
Gambar 7. Konektor tenaga utama.

Pada Gambar 7 ditunjukkan konektor tenaga utama yang tersambung dengan pasokan tenaga utama dari SCC dan dikendalikan oleh sebuah saklar pada bagian depan kotak. Tegangan operasionalnya adalah 12 VDC dan dipasok ke bagian PCB rangkaian gabungan.



Gambar 8. Konektor tenaga panel surya.

Konektor tenaga panel surya, seperti ditunjukkan pada Gambar 8, merupakan colokan yang tersambung dengan konektor panel surya pada SCC. Bagian ini berguna sebagai sambungan ke panel surya yang bisa sewaktu-waktu dilepas dengan mudah. Tegangan operasionalnya adalah dari 0 VDC hingga 35 VDC, sesuai spesifikasi dari SCC dan panel surya yang kompatibel dengannya.



Gambar 9. Konektor uji frekuensi pembangkitan.

Pada Gambar 9 ditunjukkan konektor uji frekuensi pembangkitan yang merupakan konektor

ekstra yang disediakan untuk melakukan pengujian hasil pembangkitan suara. Karena suara yang dibangkitkan memiliki rentang frekuensi antara 1.000 Hz hingga 40.000 Hz, maka sebagian spektrum suara yang dihasilkan *loudspeaker* tidak bisa didengar telinga manusia. Oleh karena itu, perlu konfirmasi yang bukan audio untuk pengujian pembangkitan suara, terutama pada spektrum ultrasoniknya. Konektor uji frekuensi pembangkitan mengambil sambungan paralel dari *loudspeaker driver* yang menuju ke *loudspeaker*, sehingga konfirmasi pembangkitan dapat dilakukan dari konektor tersebut, menggunakan multimeter yang bisa menampilkan frekuensi atau menggunakan osiloskop.

3.2. Pengujian Validasi Deteksi

Pengujian validasi deteksi ini berfungsi untuk melakukan validasi hasil deteksi VR3 terhadap suara yang terdengar. Sebelum dilakukan pengujian, dicoba memperdengarkan rekaman beberapa variasi decitan suara tikus dari ponsel. Decitan suara tikus ini berupa suara yang telah dilatihkan pada VR3 sebelumnya dan juga suara tikus lain yang tidak dilatihkan. Terdapat empat macam skenario pengujian yang berisi suara tikus yang akan diperdengarkan pada perangkat, yaitu:

1. Potongan rekaman suara tikus seperti yang dilatihkan pada VR3 yang masing-masing berdurasi kurang dari 1,5 detik, selanjutnya disebut skenario A;
2. Potongan rekaman suara tikus berdurasi kurang dari 1,5 detik yang tidak dilatihkan pada VR3, selanjutnya disebut skenario B;
3. Rekaman suara tikus dengan durasi panjang yang beberapa potongan di dalamnya telah dilatihkan pada VR3, selanjutnya disebut skenario C; dan
4. Rekaman suara tikus dengan durasi panjang yang sama sekali tidak dilatihkan pada VR3, selanjutnya disebut skenario D.

Dari keempat jenis rekaman suara tikus tersebut, maka dilakukan pemutaran ulang dengan jarak 1 meter hingga 2 meter dari perangkat, dan perilaku perangkat diamati. Kondisi pencahayaan dibuat gelap, mensimulasikan keadaan malam hari, sehingga pengusiran tikus aktif.

Sementara untuk kondisi di mana tidak ada suara tikus yang diperdengarkan pada perangkat, terdapat dua skenario, antara lain:

1. Menggunakan derau alami (*background noise*), selanjutnya disebut skenario E; dan
2. Menggunakan rekaman suara yang bukan tikus (seperti suara burung atau jangkrik), selanjutnya disebut skenario F.

Tabel I. Hasil Pengujian Validasi Deteksi

Pengujian	Banyak Pengujian	Skenario	Hit (Berhasil)	Miss (Gagal)
1	7	A	4	3
2	7	B	2	5
3	1	C	1	0
4	1	D	1	0
5	2	E	0	2
6	3	F	3	0

Hasil pengujian validasi deteksi terhadap suara tikus dari setiap skenario yang telah dibuat ditunjukkan pada Tabel I. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa tingkat keberhasilan skenario A adalah 57,1%, yang artinya dari masing-masing potongan suara tikus yang dilatihkan (sebanyak 7 macam suara) ada 57,1% yang benar-benar terdeteksi berdasarkan potongan suaranya. Skenario C memiliki tingkat keberhasilan 100%, yang artinya dari suara decitan tikus yang cukup panjang berhasil dideteksi karena memang potongan pelatihannya diambilkan dari suara utuh tersebut.

Pada skenario B, tingkat keberhasilan deteksi adalah 28,6%, meskipun suara-suara potongan yang diperdengarkan tidak ada yang dilatihkan sama sekali. Sedangkan pada skenario D terdapat tingkat keberhasilan 100%, meskipun suara tikus utuh yang diperdengarkan tidak ada satupun yang dilatihkan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh deteksi dari potongan di dalam skenario D yang mirip dengan salah satu dari skenario A.

Pada skenario E, tingkat keberhasilan menunjukkan nilai 0%. Hal ini karena adanya deteksi tikus meskipun dengan suara *background noise* yang bukan tikus. Sedangkan skenario F yang lebih spesifik menunjuk ke rekaman suara burung, jangkrik, dan binatang lainnya ternyata tidak mengakibatkan deteksi, sehingga tingkat keberhasilannya adalah 100%.

Tabel II. Hasil Confusion Matrix dari Pengujian Deteksi

Kenyataan Terdeteksi	Tikus	Bukan Tikus
Tikus	8	3
Bukan Tikus	8	2

Dengan demikian, secara umum klasifikasi deteksi tikus menghasilkan *confusion matrix* seperti ditunjukkan pada Tabel II. Dalam hal ini, nilai dari variabel yang dihasilkan ditunjukkan pada Tabel III.

Tabel III. Variabel Hasil Pengujian Deteksi

Variabel	Simbol	Nilai
<i>Condition Positive</i>	P	16
<i>Condition Negative</i>	N	5
<i>True Positive</i>	TP	8
<i>False Negative</i>	FN	8
<i>False Positive</i>	FP	3
<i>True Negative</i>	TN	2

Dari nilai-nilai variabel pada Tabel III tersebut, maka bisa dihitung akurasi deteksi suara tikus pada

perangkat ini menggunakan VR3 adalah sebesar 47,6%.

3.3. Pengujian Pembangkitan Suara

Pembangkitan suara yang dilakukan oleh mikrokontroler generator akan diuji dengan dua metode, yaitu metode audibel dan metode elektrik. Pada metode audibel, pengujian dilakukan dengan cara mendengarkan suara yang dihasilkan *loudspeaker*. Verifikasi lebih lanjut dapat dilakukan dengan menggunakan *smartphone* yang memiliki instalasi aplikasi FFT. Namun metode ini hanya dapat dilakukan pada rentang frekuensi yang dapat didengar manusia, yaitu di bawah 20.000 Hz. Bahkan pada sebagian orang, 15.000 Hz merupakan frekuensi tertinggi yang dapat didengar. Mikrofon pada *smartphone* juga hanya mampu mendeteksi pada rentang frekuensi hingga 20.000 Hz. Untuk frekuensi ultrasonik, digunakan metode elektrik, yaitu menggunakan multimeter yang bisa mendeteksi frekuensi dari sumber tegangan AC, atau menggunakan osiloskop. Metode elektrik ini dilakukan dengan cara menyambungkan *probe* multimeter atau osiloskop pada konektor uji frekuensi pembangkitan yang telah disediakan.

Tabel IV. Hasil Pengujian Pembangkitan

No.	Frekuensi Generator	Terdeteksi	Error	
	kHz	kHz	kHz	%
1	5	4.98	0.02	0.4
2	8	8.05	0.05	0.6
3	15	14.8	0.2	1.3
4	20	20.1	0.1	0.5
5	25	25.3	0.3	1.2
6	30	29.6	0.4	1.3
7	34	33.6	0.4	1.2
8	40	39.3	0.7	1.8
Rata-rata error (%)				1.0

Rekapitulasi hasil pengujian dengan osiloskop tersebut ditampilkan pada Tabel IV, yang menunjukkan bahwa rata-rata *error* yang terjadi adalah 1,0%.

3.4. Pengujian Konsumsi Energi

Data hasil pengujian konsumsi energi dengan menggunakan *multimeter* dalam berbagai kondisi dan beberapa kali percobaan. Dari hasil beberapa kali pengujian tersebut, didapatkan nilai rata-rata tegangan adalah 11,8 V, dengan nilai rata-rata arus 298 mA, yang berkorelasi dengan nilai rata-rata daya yang dibutuhkan adalah 3.509 mW. Jika dilihat dari konsumsi energi rata-rata, maka dalam 24 jam perangkat ini membutuhkan energi sebesar 84,2 Wh, atau 87,5 Wh maksimum.

3.5. Pengujian Pengisian Ulang Baterai dengan Panel Surya

Pengukuran yang dilakukan pada sisi perangkat telah menghasilkan konsumsi daya rata-rata 3.509 mW, sementara pada saat yang sama (hanya pada siang hari) dilakukan pula pengukuran pada sisi

masuknya daya dari panel surya menuju SCC. Pengujian ini dilakukan menggunakan panel surya berjenis *monocrystalline* BLD30-36M, yang memiliki puncak daya 30 Wp. Menurut *datasheet* yang ada, panel surya tersebut memiliki tegangan daya maksimum (V_{mp}) sebesar 17,6 V, arus daya maksimum (I_{mp}) sebesar 1,7 A, tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) sebesar 22 V, dan arus rangkaian tertutup (I_{sc}) sebesar 29,21 A.

Pengujian tersebut dilakukan pada hari saat kondisi cuaca cerah dengan sedikit sekali awan yang menutupi, dan arah panel surya dibuat tegak lurus ke matahari sewaktu pukul 12.00 waktu lokal pada hari yang bersangkutan. Pengambilan data dilakukan mulai dari pukul 06.00 WIB hingga 16.00 WIB, di mana jeda setiap pengambilan adalah 1 jam.

Tabel V. Hasil Pengujian Panel Surya

No	Waktu Lokal	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Estimasi Energi Masuk (Wh)
1	06.00	7,4	0,465	3,442	3,442
2	07.00	7,61	0,488	3,71	3,71
3	08.00	9,34	0,718	6,709	6,709
4	09.00	9,04	0,683	6,172	6,172
5	10.00	11,2	0,774	8,666	8,666
6	11.00	13,46	0,894	12,033	12,033
7	12.00	13,79	0,913	12,583	12,583
8	13.00	14,58	1,04	15,156	15,156
9	14.00	13,33	0,849	11,312	11,312
10	15.00	10,11	0,739	7,468	7,468
11	16.00	8,24	0,585	4,823	4,823
Estimasi Integral Energi Masuk 06.00-17.00 (Wh)					92,074

Sesuai dengan data yang didapatkan pada Tabel V, pada pukul 13.00 WIB didapatkan tegangan dan arus maksimum, yaitu 14,58 V dan 1,04 A, yang berkorelasi dengan laju pengisian sebesar 15,156 W. Jika semua data dari pukul 6.00 WIB hingga 17.00 WIB diintegrasikan, maka estimasi integral energi yang masuk dalam satu hari ketika sinar matahari dapat dimanfaatkan adalah 92,074 Wh.

3.6. Analisis Hasil Pengujian

Dari semua hasil pengujian, maka dapat dilakukan analisis sebagai berikut:

1. Dalam melakukan deteksi suara tikus (pada malam hari), perangkat ini memiliki akurasi sebesar 47,6%.
2. Dalam hal pembangkitan suara untuk mengusir hama tikus dan belalang (pada malam dan siang hari), perangkat ini memiliki *error* frekuensi pembangkitan rata-rata sebesar 1,0%.
3. Semua fasilitas otomatisasi yang dimiliki perangkat ini (otomatisasi deteksi siang-malam dan otomatisasi pembangkitan) beroperasi sesuai dengan spesifikasi yang diberikan.
4. Semua antarmuka perangkat dengan operator yang dimiliki perangkat ini (antarmuka lokal

melalui panel kendali depan dan antarmuka jarak jauh menggunakan IoT) beroperasi sesuai dengan spesifikasi yang diberikan.

5. Dengan konsumsi energi maksimum 87,5 Wh per hari (24 jam) dan pengisian ulang baterai sebesar 92,074 Wh per hari (sekitar 10 jam pada waktu sinar matahari efektif, ketika cuaca mendukung) menggunakan BLD30-36M dengan daya puncak 30 Wp, maka penggunaan panel surya dengan daya puncak 30 Wp tersebut dapat menangani konsumsi energi perangkat ini. Surplus energi yang didapatkan adalah sekitar 4,57 Wh per hari. Hal ini akan dioptimalkan jika baterai yang digunakan bertegangan 12 V dengan kapasitas 10.000 mAh atau lebih tinggi dan dalam performa yang cukup bagus.

IV. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis pada penelitian ini, maka dapat ditarik tiga kesimpulan, antara lain:

1. Efisiensi energi perangkat pengendali hama tikus dan belalang cukup tinggi dengan menggunakan sumber tenaga dari panel surya 30 Wp yang dapat memasok energi rata-rata (sewaktu cuaca cerah) dan ditampung pada baterai 12 V 10.000 mAh, dengan surplus sebesar 4,57 Wh per hari.
2. Eksekusi dan monitoring perangkat pengendali hama tikus dan belalang melalui IoT berhasil dilakukan sesuai spesifikasi yang ditentukan untuk mengendalikan beberapa poin pengaturan dan memantau kondisinya.
3. Perangkat pengendali hama tikus dan belalang menggunakan ultrasonik yang dinamis dan terjadwal telah berhasil dirancang dan dibangun, dengan hasil pengujian mendapatkan nilai akurasi deteksi suara tikus sebesar 47,6%, nilai *error* frekuensi pembangkitan sebesar 1,0%, dan antarmuka dengan operator yang berfungsi semua sesuai spesifikasi yang ditentukan.

4.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian ini adalah:

1. Pada penelitian berikutnya diharapkan terdapat mekanisme pengarah panel surya otomatis terhadap arah sinar matahari, sehingga efektifitas pengisiannya dapat ditingkatkan dan dijaga pada kondisi konversi energi optimal.
2. Pada penelitian berikutnya diharapkan ada metode deteksi pada hama yang lebih efektif dan lebih beragam untuk meningkatkan daya guna perangkat yang dibangun.

3. Pada penelitian berikutnya diharapkan perangkat dibuat lebih terlindung dari cuaca menggunakan *weatherproof casing* sehingga aman untuk dibiarkan pada udara terbuka dengan perawatan minimum.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. D. Kocher, *Genome Mapping and Genomics in Fishes and Aquatic Animals*, Berlin: Springer, 2008.
- [2] J. A. Nasir, S. Hardienata dan M. I. Suriansyah, "Model Pengontrol Tingkat Keasaman Air untuk Budidaya Ikan Koi," pp. 1-9, 2016.
- [3] R. G. Bates, *Determination of pH: Theory and Practice*, New Jersey: Wiley, 1973.
- [4] A. K. Covington, R. G. Bates and R. A. Durst, "Definitions of pH Scales, Standard Reference Values, Measurement of pH, and Related Terminology," *Pure Appl. Chem.*, vol. 57, no. 3, pp. 531-542, 1985.
- [5] N. Abidin, Sugiono dan B. M. B., "Desain Perangkat Pengaduk Cairan Menggunakan Fuzzy Logic Control System," *SCIENCE ELECTRO*, vol. 10, no. 1, pp. 13-18, 2019.
- [6] K. F. Lim, "Negative pH does Exist," *Journal of Chemical Education*, vol. 83, no. 10, p. 1465, 2006.
- [7] P. Xu, "Genome sequence and genetic diversity of the common carp, *Cyprinus carpio*," *Nature Genetics*, vol. 46, no. 11, pp. 1212-1219, 2014.
- [8] W. J. Terrell, *Some Fundamental Control Theory I: Controllability, Observability, and Duality*, The American Mathematical Monthly, 2004, pp. 705-719.
- [9] S. Heath, *Embedded Systems Design*, Massachusetts: Newnes, 2003.
- [10] AllAboutCircuits.com, "How to Use Simple Converter Circuits," 15 11 2018. [Online]. Available: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/utilization-of-simple-converters-circuits/>.
- [11] S. Herman, *Industrial Motor Control*, Delmar: Delmar Cengage Learning, 2010.
- [12] Tutorials Point, "Control Systems - Introduction," 15 11 2018. [Online]. Available: https://www.tutorialspoint.com/control_systems/control_systems_introduction.htm.
- [13] B. A. Firdaus, R. Kridalukmana dan E. D. Widiyanto, "Pembuatan Alat Pemberi Pakan Ikan dan Pengontrol PH Otomatis," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 4, no. 1, pp. 133-138, 2016.
- [14] Al Qalit, Fardian dan A. Rahman, "Rancang Bangun Prototipe Pemantauan Kadar pH dan Kontrol Suhu Serta Pemberian Pakan Otomatis pada Budi Daya Ikan Lele Sangkuriang Berbasis IoT," *Jurnal Online Teknik Elektro*, vol. 2, no. 3, pp. 8-15, 2017.
- [15] "Arduino - Introduction," 15 7 2018. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/guide/introduction>.
- [16] M. Banzi, *Getting Started with Arduino*, Sebastopol: O'Reilly Media, 2011.

- [17] S. A. Dyer, Wiley Survey of Instrumentation and Measurement, John Wiley & Sons, 2004.
- [18] Z. Vukić, L. Kuljača, D. Đonlagić and S. Tešnjak, Nonlinear Control Systems, New York: Marcel Dekker, 2003.