

Produksi Propolis dari Lebah *Tetragonula laeviceps* Menggunakan Sarang MOTIVE yang Dilengkapi dengan Sistem Instrumentasi

Muhammad Naufal Hakim & ¹ Muhammad Yusuf Abduh*)

Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha No. 10
Bandung 40132 Indonesia

yusuf@sith.itb.ac.id*)

Abstrak

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem instrumentasi pada sarang lebah yang diberi nama MOTIVE untuk budidaya lebah *Tetragonula laeviceps*. Tujuan implementasi ini adalah untuk mengoptimalkan produksi propolis berdasarkan data dari sistem instrumentasi menuju sistem pertanian presisi berbasis data. Bahasa program yang digunakan sebagai antarmuka pada Arduino dan Raspberry Pi adalah Arduino dan Python. Parameter yang diukur oleh sensor pada sarang MOTIVE adalah temperatur, kelembapan, massa sarang MOTIVE serta total lebah keluar masuk sarang yang diperbarui setiap 15 dan 30 menit sekali. Variasi penelitian berupa intensitas cahaya yang diimplementasikan pada koloni dalam sarang bambu, sarang MOTIVE berbahan kayu, dan sarang MOTIVE berbahan akrilik. Propolis yang dihasilkan oleh lebah dipanen untuk dianalisis kandungan flavonoid berbasis ekivalen kuersetin. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa produktivitas propolis yang dihasilkan oleh lebah pada sarang MOTIVE sebanyak 2-2,4 g/sarang/minggu. Nilai kandungan flavonoid tertinggi pada ekstrak propolis diperoleh dari propolis yang dihasilkan oleh lebah pada sarang MOTIVE kayu sebanyak 14,3 mg QE/gram. Sistem instrumentasi terbukti berhasil melakukan perekaman data secara simultan dan tidak mengganggu aktivitas lebah. Berdasarkan parameter yang diukur, konversi resin menjadi propolis secara optimal terjadi pada sarang dengan variasi temperatur dan kelembapan yang kecil, serta intensitas cahaya pada sarang terbukti berpengaruh pada produksi propolis.

Kata kunci: Arduino, MOTIVE, Pertanian presisi, Raspberry Pi, Sistem akuisisi data, *Tetragonula laeviceps*

1 Pendahuluan

Pasar obat herbal dalam skala global terus meningkat seiring dengan naiknya tren gaya hidup sehat. Indonesia sendiri merupakan salah satu negara dengan potensi pasar obat herbal yang besar, dengan pasar obat herbal pada 2005 hanya sebesar Rp 5 triliun, naik pada 2006 menjadi Rp 7 triliun dan melonjak pada 2012 sebesar Rp 13 triliun [1]. Pasar yang besar ini memungkinkan produk kesehatan berbasis herbal patut dikomersialkan. Salah satu jenis obat herbal adalah propolis. Pangsa pasar propolis di dunia diperkirakan meningkat dari 2.300 ton pada tahun 2015 menjadi 2.900 ton pada tahun 2021 [2].

Propolis merupakan cairan dari resin pohon yang digunakan dan diolah melalui konversi oleh lebah untuk menutupi lubang yang ada pada sarang lebah [3]. Propolis bersifat antibakteri, antifungi dan antioksidan sehingga secara alami digunakan untuk melindungi sarang dari bakteri, jamur maupun predator yang mungkin menyerang sarang. Sifat propolis ini yang dimanfaatkan untuk pembuatan obat herbal. Propolis memiliki lebih dari 180 senyawa yang telah diidentifikasi, dan senyawa yang terkandung dalam propolis relatif berbeda pada setiap daerah tergantung dari mayoritas tanaman sumber resin di tempat tersebut [4, 5].

Metode panen propolis oleh kebanyakan peternak lebah adalah dengan cara merusak sarang lebah untuk diambil kantong madunya. Kantong madu tersebut yang kemudian diolah menjadi ekstrak propolis. Hal ini mengakibatkan setiap proses panen harus diikuti dengan pembuatan sarang baru, sehingga produksi propolis massal pada suatu sarang permanen secara berkelanjutan menjadi sulit. Nilai produktivitas propolis yang rendah saat ditenakkan di sarang konvensional sebesar 18,5 gram/koloni/tahun [6] menjadi hal yang semestinya dapat dioptimalkan lebih lanjut.

MOTIVE atau *Modular Tetragonula Hive* merupakan inovasi sarang lebah untuk mengoptimalkan produktivitas propolis. Kunci inovasi pada MOTIVE adalah adanya *frame* kawat yang berlubang-lubang. Lebah akan mengisi lubang-lubang tersebut dengan propolis, dan *frame* tersebut yang akan dipanen oleh petani, sehingga tidak perlu membongkar sarang [7]. Inovasi ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menggunakan konsep pertanian presisi melalui rancang bangun suatu sistem instrumentasi. Sistem instrumentasi berupa pemantauan pada sarang lebah sudah banyak dilakukan pada lebah madu (*Apis sp*) sedangkan untuk lebah tanpa sengat seperti *Tetragonula sp.* contoh penerapan sistem instrumentasi pada sarang lebah berupa pengamatan temperatur dan kelembapan untuk menentukan kondisi kesehatan koloni di dalam sarang [8-10].

Pada penelitian ini, studi kelayakan dari sistem instrumentasi dilakukan agar didapat sensor, modifikasi sensor, dan pembuatan program yang sesuai dengan kebutuhan serta tidak mengganggu aktivitas lebah. Sistem instrumentasi ini digunakan untuk pengamatan kondisi internal sarang lebah *Tetragonula laeviceps* yang berbeda intensitas cahayanya sehingga dapat diketahui pengaruh intensitas cahaya, nilai temperatur dan kelembapan optimal untuk proses konversi resin menjadi propolis. Keberlanjutan koloni dipantau dengan massa koloni yang didapat dari sensor massa. Aktivitas lebah juga dapat diamati melalui sensor penghitung lebah keluar masuk sarang. Ekstraksi propolis dilakukan untuk menentukan kandungan flavonoid pada setiap sarang lebah dengan standar ekivalen kuersetin (QE).

2 Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Alat

Peralatan yang dibutuhkan dalam rancang bangun sarang MOTIVE yang dilengkapi sistem instrumentasi adalah sarang MOTIVE kayu, sarang MOTIVE akrilik, sarang bambu, sensor *load cell* HX711, pelat akrilik, sensor DHT22, TCRT5000 *infrared* sensor, Arduino Nano, Arduino Uno, Raspberry Pi 3, adapter 5 V, resistor 100K Ω , resistor 330 Ω , kabel *jumper*, kabel USB, dan *stabilizer* listrik.

2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa koloni lebah *Tetragonula laeviceps* yang berasal dari Desa Cibeusi, Kabupaten Subang, Jawa Barat, propolis, etanol 80%, metanol 80%, aluminium foil, $AlCl_3$ dan akuades yang diperoleh dari gudang bahan Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati ITB serta kuersetin dari Sekolah Farmasi ITB.

3 Metode

3.1 Pengukuran Cahaya pada Sarang Lebah

Pengukuran cahaya pada sarang lebah, baik sarang bambu, sarang MOTIVE kayu, dan sarang MOTIVE akrilik menggunakan lux meter dilakukan agar didapatkan jumlah cahaya yang masuk ke dalam sarang. Lux meter tidak digunakan sebagai sensor di dalam sarang dikarenakan lebah *Tetragonula laeviceps* akan menganggap lux meter merupakan benda asing dan menutupinya dengan propolis [5]. Banyaknya cahaya yang masuk berfungsi sebagai variabel terikat pada sarang dan dilihat pengaruhnya dalam penelitian ini. Metode yang digunakan adalah menyoroti sarang dengan cahaya matahari langsung dalam kondisi sarang tertutup pada kondisi lux meter berada di dalam sarang. Intensitas cahaya pada sarang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Intensitas cahaya pada sarang lebah

Variasi	Intensitas cahaya (lux)
Sarang bambu	7
Sarang MOTIVE kayu	43
Sarang MOTIVE akrilik	165
Sarang MOTIVE akrilik kontrol	~50000

Berdasarkan Tabel 1, didapatkan gambaran mengenai kondisi intensitas cahaya pada setiap sarang yang dapat digunakan sebagai acuan pada produktivitas dan kualitas propolis yang dihasilkan masing-masing sarang.

3.2 Penelitian Pendahuluan Pengujian Sarang Akrilik

Penelitian sistem instrumentasi pada sarang lebah ini dilakukan di Desa Cileunyi Wetan, Kab. Bandung. Penelitian pendahuluan dimaksudkan untuk menguji kelayakan sarang lebah pada akrilik bening. Hasil pengujian yang dilakukan adalah lebah mampu hidup di dalam sarang akrilik, namun produktivitas propolis dari sarang akrilik sangat rendah bahkan tidak ada. Kemudian sarang akrilik ditutup dengan plastik hitam agar menciptakan kondisi minim cahaya seperti sarang bambu dan kayu. Besar intensitas cahaya sarang akrilik tersebut juga diukur dan hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1. Setelah ditutupi plastik hitam, lebah menghasilkan propolis pada *frame* kawat sebagaimana pada sarang kayu. Namun untuk sarang MOTIVE akrilik kontrol, sarang tetap dibiarkan tanpa tutup.

Persiapan Sensor dan Kalibrasi

Pengecekan dan kalibrasi sensor dilakukan sebelum sensor dimasukkan ke dalam sarang. Tahap ini meliputi pembuatan program pembacaan sensor massa HX711 serta temperatur dan kelembapan DHT22 melalui program “DHTLoadCell.ino” serta program sensor gerak “MotionSensor.ino” untuk mikrokontroler Arduino berbasis bahasa Arduino yang dibuat sendiri. Program MotionSensor tidak perlu dibedakan karena sensor gerak untuk setiap sarang sama jenisnya dan tidak ada perbedaan kalibrasi.

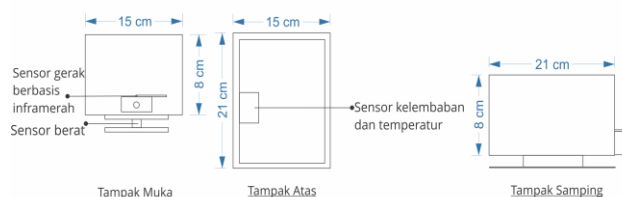
Pembuatan Program Pencatatan Data

Program pencatatan data sensor “DataRecord.py” dibuat agar data dari sensor dapat direkam dan disimpan di mikrokomputer (Raspberry Pi). Program ini berbasis bahasa pemrograman Python dan perekaman data disimpan di dalam berkas dengan ekstensi CSV (*Comma Separated Values*). Ekstensi CSV jamak digunakan dalam penyimpanan data sebab memiliki ukuran yang relatif kecil, dapat dibuka di program *spreadsheet* apapun, dan tidak membutuhkan perangkat lunak tambahan untuk menjalankannya [11]. Program pencatatan data bersifat eksklusif untuk masing-masing sarang sehingga berkas perekaman data dapat dibedakan untuk setiap sarang.

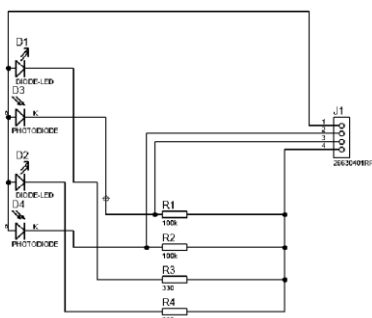
Instalasi Sensor pada Sarang MOTIVE

Sensor temperatur dan kelembapan dirangkai dan ditempel ke dalam sarang dengan cara sarang dilubangi untuk tempat keluar kabel yang akan tersambung ke mikrokontroler Arduino. Sensor gerak ditempel di mulut sarang. Instalasi sensor pada sarang MOTIVE dapat dilihat pada Gambar 1. Rangkaian skematis sensor gerak dapat dilihat pada Gambar 2. Kode D1 dan D2 merupakan fotodioda, D3 dan D4 merupakan dioda inframerah, R merupakan resistor dan J merupakan masukan kabel dengan *jack female*. *Jack female* yang tersambung terdiri atas empat *jack*, yaitu *jack* untuk beda potensial 5 V, *jack ground*, dan dua pin digital. Pin digital ini merupakan nilai masukan analog yang akan diolah pada Arduino menjadi nilai digital yang dapat diolah oleh Raspberry Pi.

Nilai resistor yang tersambung pada fotodioda dan dioda inframerah menentukan sensitivitas dari sensor tersebut. Sensor massa diletakkan di bawah sarang, dengan menggunakan pelat akrilik sebagai *platform* untuk sensor massa. Kabel dan mikrokomputer terletak di luar sarang, namun ditutupi dengan wadah plastik sebagai pelindung terhadap air. Sumber listrik yang digunakan berasal dari PLN. Adaptor AC 5 volt digunakan sebagai sumber daya mikrokomputer. Sumber daya sensor dan mikrokontroler menggunakan USB yang terhubung pada mikrokomputer sekaligus sebagai jalur komunikasi mikrokontroler dan mikrokomputer.



Gambar 1. Instalasi sensor pada sarang MOTIVE



Gambar 2. Skema rangkaian listrik sensor gerak pada sarang MOTIVE (D1 dan D2 = fotodiode, D3 dan D4 = diode inframerah, R1 dan R2 = Resistor 100K Ω , R3 dan R4 = Resistor 330 Ω , J1 = jack female)

Sistem Pemantauan Sensor MOTIVE

Jalur komunikasi data menggunakan kabel UTP (LAN). Jalur komunikasi digunakan untuk sarana koneksi mikrokomputer (Raspberry Pi) ke kendali pusat yaitu komputer. Jalur komunikasi antara komputer dan mikrokomputer juga dapat menggunakan WiFi untuk kemudahan akses data nirkabel. Sistem ini diuji terlebih dahulu pada kondisi dalam ruang serta luar ruang sebelum koloni dimasukkan ke dalam sarang. Pada tahap ini juga dapat sekaligus dilakukan studi kelayakan, seperti kebutuhan kabel USB atau kebutuhan *stabilizer* agar listrik yang dihasilkan stabil. Listrik yang tidak stabil dapat membuat program pencatatan data tidak mampu mengirimkan data.

Pengambilan Data

Data pada sensor disimpan pada *flashdisk* dan diambil setiap seminggu sekali untuk kemudian dianalisis. Semua data dapat diperoleh tanpa mengganggu proses akuisisi data karena data diperoleh melalui skema protokol pemindahan data FTP (*File Transfer Protocol*) melalui koneksi mikrokomputer dan komputer. Pengamatan dilakukan selama satu bulan, hanya saja data yang dapat dianalisis dari sistem instrumentasi hanya sepekan, sehingga data produksi propolis yang digunakan juga berkorelasi dengan data dari sistem instrumentasi yaitu sepekan.

Pemanenan Propolis

Sarang MOTIVE baik kayu maupun akrilik cukup dipanen dengan cara mengambil *frame* dan mengganti kawat. Pemanenan propolis pada bambu hanya dilakukan pada propolis yang digunakan untuk menutupi sarang, karena pada dasarnya prinsip sarang MOTIVE sama dengan hal tersebut. Massa kawat kemudian ditimbang untuk mendapatkan nilai propolis yang dihasilkan oleh lebah.

Pembuatan Kurva Baku Kuersetin

Larutan stok kuersetin dibuat berdasarkan referensi dari Machado dengan melarutkan 10 mg kuersetin ke dalam 100 mL metanol 80% sehingga diperoleh larutan stok 100 $\mu\text{g/mL}$ [12]. Kemudian larutan stok diencerkan dengan metanol hingga konsentrasi menjadi 0; 2,5; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35 dan 40 $\mu\text{g/mL}$. Pengenceran dilakukan dalam tabung reaksi. Pada masing-masing konsentrasi larutan kuersetin, diambil sebanyak 1 mL untuk

kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Pada masing-masing konsentrasi ditambahkan 1 mL 2% (massa/volume) AlCl_3 yang telah dilarutkan dalam metanol. Selanjutnya ditambahkan metanol hingga 10 mL. Larutan kemudian dihomogenisasi pada alat vortex dan diinkubasi selama 30 menit, selanjutnya larutan dimasukkan ke dalam kuvet dan dibaca absorbansinya pada panjang gelombang 415 nm. Kurva baku kuersetin diperoleh dengan mengalurkan nilai konsentrasi terhadap nilai absorbansi.

Ekstraksi Propolis

Metode ekstraksi propolis yang digunakan berdasarkan referensi dari Machado dengan modifikasi [12]. Propolis dimaserasi menggunakan etanol 80% dengan perbandingan 1:25 (massa/volume) selama 30 menit dengan kondisi operasi berupa temperatur 40°C dan kecepatan 500 rpm pada *incubator shaker*. Ekstrak propolis kemudian disaring menggunakan kertas saring dan supernatan disimpan di dalam botol gelap. Pada pengujian flavonoid, supernatan sebanyak 0,25 mL ditempatkan di cawan uap yang ditutupi alumunium foil untuk memperkecil cahaya masuk. Cawan uap diletakkan pada *hot plate* dengan temperatur 45°C . Setelah supernatan menguap, propolis yang tertinggal di dalam cawan uap ditambahkan metanol 80% sebanyak 10 mL untuk kemudian disimpan ke dalam tabung *falcon*. Larutan metanol-propolis ditambahkan AlCl_3 2% dengan perbandingan 1:1 (volume/volume), kemudian diinkubasi selama 30 menit. Larutan tersebut dihomogenisasi dengan menggunakan vortex selama 20 detik, dan selanjutnya absorbansi larutan diukur menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 415 nm. Kandungan flavonoid dapat dihitung berdasarkan kurva baku dari standar kuersetin dalam satuan mg QE/mL. Konversi ke satuan mg QE/gram digunakan formula (1).

$$QE \left(\frac{\text{mg}}{\text{g}} \right) = QE \left(\frac{\text{mg}}{\text{mL}} \right) \times \frac{100 \text{ mL}}{\text{massa propolis (g)}} \quad (1)$$

4 Hasil dan Diskusi

4.1 Penggunaan Sensor, Mikrokontroler Arduino, dan Raspberry Pi pada MOTIVE

Sensor digital, mikrokontroler Arduino, dan Raspberry Pi telah berhasil diimplementasikan pada sarang MOTIVE untuk melakukan pengambilan data dari parameter yang telah ditentukan berupa data temperatur, kelembapan, serta massa setiap 15 menit sekali. Penggunaan sensor gerak hanya berhasil pada satu sarang yaitu sarang MOTIVE kayu 1 dengan perekaman data setiap 30 menit sekali. Sensor gerak yang lain dapat bekerja dengan baik, namun proses perekaman berjalan tidak sebagaimana yang telah diprogramkan. Pemilihan dan rancang bangun sistem instrumentasi didasarkan pada karakteristik lebah *Tetragonula laeviceps* yang berasal dari pengamatan lapangan di Desa Cileunyi Wetan, Kabupaten Bandung dan Salatnaya [6]. Karakteristik tersebut antara lain adalah lebah *T. laeviceps* akan menutupi objek asing pada sarangnya dengan propolis. Karakteristik berikutnya adalah penempelan propolis dan madu dari sarang lama harus dilakukan agar anggota koloni dapat berpindah ke sarang baru. Penggunaan sensor ultrasonik juga tidak dapat digunakan karena dapat mengganggu sistem navigasi lebah [6, 13].

Karakteristik tersebut membuat beberapa sensor harus dilakukan penyesuaian agar dapat melakukan pengukuran dengan akurat dan presisi. Sensor DHT22 yang diletakkan di dalam sarang ditutup dengan menggunakan *impraboard* agar tidak ditutupi oleh propolis. Sensor massa tidak memiliki gangguan dari karakteristik lebah, namun sensor massa memiliki gangguan dari mudah bergesernya MOTIVE serta gangguan angin. Modifikasi yang dilakukan ialah dengan menggunakan paku pada bagian bawah MOTIVE, baik kayu maupun akrilik agar tidak bergerak saat ada angin yang cukup keras.

Sensor gerak yang dipilih berbasis pada sensor inframerah. Basis inframerah digunakan sebab sensor inframerah tidak akan memengaruhi sistem navigasi lebah. Perihal kecocokan penggunaan sensor ini dapat dilihat dari kedekatan famili antara *Apis* dan *Tetragonula* [14]. Sensor gerak sendiri memiliki gangguan presisi dari karakteristik lebah *T. laeviceps* yang masuk secara “mengantri” pada sarang, sehingga angka yang terhitung pada sensor dapat lebih kecil. Selain itu pada koloni lebah *T. laeviceps* terdapat lebah yang berfungsi untuk menjaga pintu sarang dan berdiam di pintu sarang [15]. Apabila program pembacaan sensor tidak dimodifikasi, terdapat kemungkinan *infinity loop* pada sensor inframerah karena pembacaan sensor terganggu. Solusi untuk menanggulangi ini adalah menggunakan baris program yang tidak memungkinkan terjadinya *infinity loop* [16].

Penggunaan Raspberry Pi sebagai mikrokomputer dipilih karena ukurannya yang kecil sehingga dapat diletakkan di ruang terbatas seperti rak untuk sarang lebah. Penggunaan daya yang relatif kecil yaitu 5 W membuat Raspberry Pi dapat menggunakan adaptor untuk telepon genggam. Raspberry Pi memiliki beberapa mode koneksi dengan Arduino, namun mode koneksi yang dipilih menggunakan antarmuka serial biasa. Penggunaan mode serial digunakan karena dapat mengirimkan data dalam jumlah besar, mudah diprogram, dan tidak membutuhkan penyesuaian khusus pada pengaturan mikrokontroler Arduino atau pada Raspberry Pi [17]. *Flash disk* digunakan untuk penyimpanan data dikarenakan memori Raspberry Pi yang kecil dan apabila digunakan sebagai media penyimpan, dapat memengaruhi kinerja Raspberry Pi secara keseluruhan.

4.2 Cara Kerja Sistem Pemantauan Berbasis Sensor pada MOTIVE

Cara kerja pada sistem pemantauan berbasis sensor pada MOTIVE dapat digambarkan dengan diagram blok pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram blok sistem instrumentasi

Besaran fisis yang diukur akan masuk ke dalam sensor. Sensor akan mengubah besaran fisis yang diterima menjadi besaran listrik. Besaran listrik yang digunakan pada penelitian ini berada pada rentang 0-5 V. Khusus untuk sensor gerak, hanya ada dua tipe masukan, masukan rendah yang bernilai 3,3 V dan memiliki nilai digital 0 dan masukan tinggi yang bernilai 5 V dan memiliki nilai digital 1. Besaran listrik ini yang akan diubah melalui mikrokontroler Arduino menjadi nilai digital sesuai faktor kalibrasi yang telah dimasukkan pada setiap mikrokontroler Arduino. Pengubahan besaran listrik menjadi nilai digital mutlak

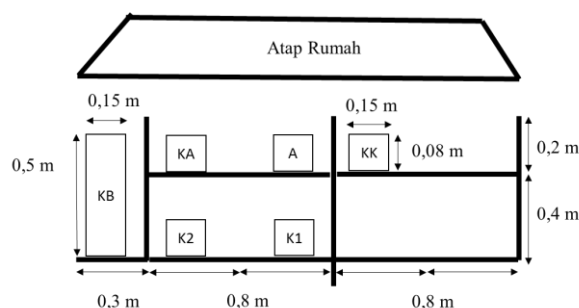
dibutuhkan karena Raspberry Pi, seperti komputer pada umumnya hanya mampu membaca nilai digital.

Nilai digital ini kemudian dipindahkan melalui koneksi serial USB ke Raspberry Pi. Pada koneksi serial, pin untuk pengiriman data dibedakan antara data dan sumber tenaga, sehingga mencegah adanya data yang rusak karena sumber listrik yang tidak stabil. Nilai waktu direkam langsung dari Raspberry Pi selama perekaman, sehingga perekaman data berjalan secara *real-time*. Berkas CSV untuk penyimpanan data dipilih karena memiliki ukuran berkas yang relatif kecil sehingga memungkinkan untuk menampung data dalam jumlah banyak [11]. Kelebihan sistem instrumentasi yang diterapkan pada sarang ini adalah kondisi sarang dapat terus menerus dipantau. Sistem ini juga memungkinkan adanya pemilihan media keluaran data, yang pada penelitian ini disimpan dalam berkas *Comma Separated Value* (CSV). Data juga dapat ditampilkan langsung ke layar *Liquid Crystal Display* (LCD) untuk pemantauan tren dari data tertentu.

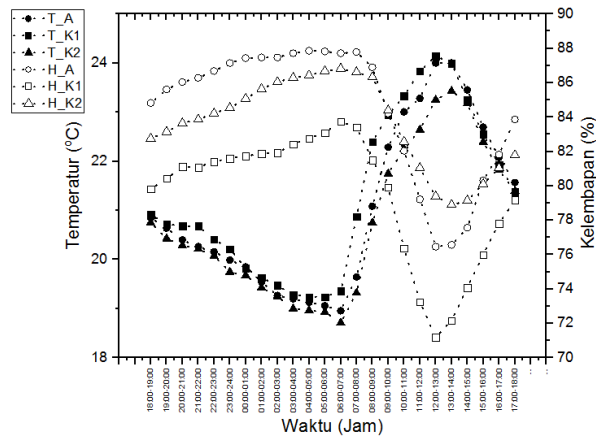
Namun, sistem instrumentasi ini memiliki kekurangan dibandingkan sarang konvensional. Kekurangannya antara lain sulit dalam instalasi sensor serta pemilihan tempat dan penempatan sarang harus direncanakan sehingga memudahkan instalasi sensor dan kabel.

4.3 Pengaruh Kelembapan dan Temperatur terhadap Aktivitas dan Massa Koloni

Kelembapan dan temperatur sekitar sarang menjadi faktor penting bagi lebah *T. laeviceps* untuk beraktivitas [6]. Temperatur yang terlalu rendah dapat menyebabkan kematian koloni, sedangkan temperatur yang terlalu tinggi membuat lebah pekerja hanya fokus mencari air [5]. Penggunaan sensor kelembapan dan temperatur yang dipasang di dalam sarang membuat kondisi di dalam sarang dapat diketahui secara simultan. Hasil pengamatan melalui sistem instrumentasi ini menunjukkan bahwa setiap sarang selalu memiliki pola tren data kelembapan dan temperatur yang sama, yaitu saling berkebalikan. Temperatur mencapai puncaknya pada siang hari, dan kelembapan mencapai puncaknya pada malam hari, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Hal yang sedikit membedakan terletak pada posisi dan material sarang.



Gambar 4. Posisi sarang tampak depan (KK = sarang MOTIVE kontrol kayu, K1 = sarang MOTIVE kayu 1, K2 = sarang MOTIVE kayu 2, A = sarang MOTIVE akrilik, KA = sarang MOTIVE kontrol akrilik, KB = sarang kontrol bambu)



Gambar 5. Tren harian temperatur dan kelembapan pada setiap sarang. (T_A = Temperatur sarang MOTIVE akrilik, H_A = Kelembapan sarang MOTIVE akrilik, T_K1 = Temperatur sarang MOTIVE kayu 1, H_K1 = Kelembapan sarang MOTIVE kayu 1, T_K2 = Temperatur sarang MOTIVE kayu 2, H_K2 = Kelembapan sarang MOTIVE kayu 2)

Tabel 2. Kondisi rata-rata massa koloni dan sarang

Variasi	Massa (kg)	Massa awal + koloni (kg)	Massa akhir + koloni (kg)	Variansi Massa pada Sensor
K1	0,96	1,038	0,988	0,015
K2	0,95	1	1,026	0,07
A	1,47	1,445	1,571	0,01

Keterangan : K1 = sarang MOTIVE kayu 1, K2 = sarang MOTIVE kayu 2, A = sarang MOTIVE akrilik

Tabel 3. Kondisi rata-rata temperatur dan kelembapan sarang MOTIVE pada pagi, siang dan sore hari

Variasi	Kelembapan (%)			Temperatur (°C)		
	Pagi	Siang	Sore	Pagi	Siang	Sore
K1	79,7	74,3	79,8	22,1	23,2	21
K2	84,6	79,7	82,6	20,9	22,8	20,9
A	84,6	78,6	84,8	21,4	23,3	21

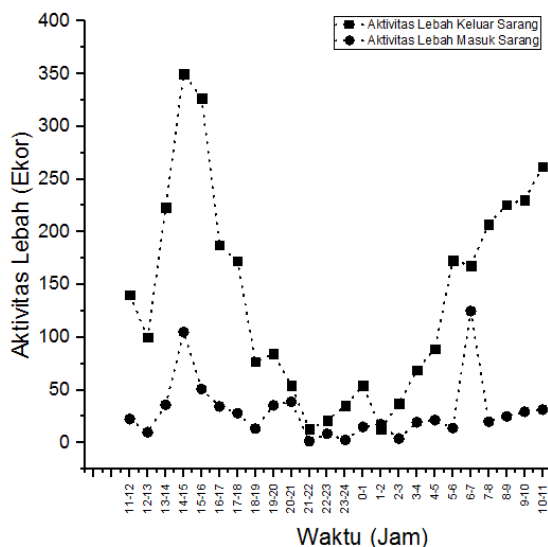
Keterangan : K1 = sarang MOTIVE kayu 1, K2 = sarang MOTIVE kayu 2, A = sarang MOTIVE akrilik

Posisi sarang dapat dilihat pada Gambar 4. Terlihat bahwa sarang MOTIVE akrilik dan sarang MOTIVE kontrol tertutupi oleh atap rumah, sehingga relatif tidak terkena paparan sinar matahari langsung. Sarang MOTIVE kayu 1, kayu 2 dan kontrol bambu keduanya tidak tertutupi atap, namun posisi sarang MOTIVE kayu 2 dan kontrol bambu berada di belakang pepohonan, sedangkan sarang MOTIVE kayu 1 langsung terpapar sinar matahari. Sarang MOTIVE kayu 1 dan 3 material keseluruhannya terdiri dari kayu yang sifatnya higroskopis namun juga mudah kering. Namun berdasarkan Tabel 3, rata-rata temperatur dan kelembapannya berbeda. Hal ini terjadi karena sarang MOTIVE kayu 1 terletak di tempat yang relatif lebih panas dibandingkan kayu 2. Panas yang lebih tinggi membuat temperatur naik dan kadar air internal sarang berkurang, sehingga kelembapan juga berkurang. Tren temperatur dan kelembapan harian dari setiap sarang dapat dilihat pada Gambar 5.

Pengaruh cahaya matahari dan posisi juga tampak pada pengukuran temperatur dan kelembapan di sarang akrilik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Material sarang MOTIVE akrilik merupakan bahan yang tidak menyerap air dan mudah menyerap panas [18]. Seharusnya, dengan sifat material tersebut, sarang MOTIVE akrilik merupakan sarang dengan kondisi yang paling stabil. Pengaruh posisi ini menyebabkan sarang akrilik variansinya cukup besar. Selain itu, hal ini juga dapat dipengaruhi oleh kayu yang digunakan sebagai alas sarang MOTIVE akrilik. Jenis kayu yang digunakan pada sarang akrilik berbeda dengan sarang kayu sehingga memungkinkan menyerap air lebih cepat. Hal ini terlihat dari tingginya rata-rata kelembapan sarang MOTIVE akrilik, walaupun rata-rata temperatur di dalam sarang relatif lebih tinggi yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Namun, aktivitas lebah tidak dapat diamati dengan baik. Berdasarkan pengamatan, kemungkinan yang terjadi adalah lubang keluar terlalu kecil untuk melewati berkas sinar inframerah yang masuk. Sensor gerak menjadi salah satu hal yang dapat dikembangkan untuk penelitian lanjutan dikarenakan ukuran lebah *T. laeviceps* yang relatif kecil sehingga berkas sinar tidak terpotong dengan baik, padahal berkas sinar harus terpotong dengan sempurna agar sensor dapat menghitung aktivitas lebah keluar masuk. Selain itu, kebiasaan lebah tanpa sengat yang memiliki lebah penjaga pintu sarang juga membuat

berkas sinar inframerah tidak terpotong sempurna [15]. Hanya ada satu sarang yang mampu merekam pergerakan setiap waktu yang ditentukan, yaitu sarang MOTIVE kayu 1. Jumlah lebah pekerja adalah sekitar 1000-3000 ekor [19]. Pergerakan lebah setiap jam dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Aktivitas lebah keluar masuk sarang

Berdasarkan Gambar 6, terlihat bahwa aktivitas keluar tertinggi berada pada waktu dengan rentang temperatur harian paling tinggi yaitu pada jam 14.00-15.00. Hal ini juga membenarkan pernyataan Salatnaya dan Ismawan bahwa aktivitas lebah tergantung dari temperatur serta kelembapan sarang [6, 20]. Rataan aktivitas terbang *T. laeviceps* berada pada rentang 20-147 ekor per hari. Rataan ini masih berada pada penelitian Ismawan dan Salatnaya yang menyatakan rata-rata aktivitas terbang bernilai 0-20 ekor per hari dan 300 ekor per hari [6, 20]. Adanya perbedaan tersebut dikarenakan faktor mikroklimat setiap daerah penelitian. Selain itu, penelitian sebelumnya hanya melihat kondisi mikroklimat pada lingkungan, bukan melalui kondisi internal sarang. Adanya aktivitas yang cukup tinggi pada malam hari harus diverifikasi lagi pada penelitian selanjutnya. Penelitian yang dilakukan oleh Nascimento menunjukkan bahwa lebah *T. laeviceps* tidak dapat terbang di atas jam 18.00 karena mereka mengandalkan sinar matahari sebagai sumber navigasi [21].

Rataan aktivitas terbang pada lebah menunjukkan aktivitas terbang lebih banyak keluar dibandingkan yang masuk. Hal ini terjadi karena pengaruh temperatur koloni pada sarang MOTIVE kayu 1 yang relatif tinggi. Tingginya temperatur memaksa lebah pekerja untuk keluar lebih banyak guna mengambil air agar temperatur koloni menjadi lebih rendah, karena memang aktivitas terbang lebah sangat dipengaruhi temperatur lingkungan [22]. Selain itu, aktivitas masuk yang lebih rendah dibandingkan aktivitas keluar dapat disebabkan lebah pekerja yang keluar sarang dimangsa oleh predator, seperti tawon. Bila dibandingkan dengan Tabel 4, aktivitas terbang lebah tidak berkorelasi langsung dengan produktivitas propolis yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena aktivitas terbang lebah tidak hanya mencari resin sebagai bahan baku propolis, namun juga mencari air, nektar dan pollen [4].

Ketelitian sensor massa pada penggunaan dalam ruang mampu mencapai 0,005 kg [23]. Namun, penggunaan sensor massa pada sistem instrumentasi ini hanya memiliki nilai ketelitian 0,01 kg. Berdasarkan Tabel 2, pengukuran sensor massa menunjukkan kesalahan yang masih cukup besar apabila dibandingkan dengan pengukuran timbangan. Hal ini disebabkan pengaruh angin masih cukup besar, walaupun pada sarang telah digunakan penyangga tambahan agar sarang tidak mudah bergerak. Faktor kalibrasi sensor massa yang berbeda-beda juga menjadi kesulitan tersendiri dalam mengembangkan akurasi dari sensor massa ini [24]. Penggunaan sensor massa untuk memperkirakan keberlanjutan koloni belum dapat diamati, sebab pada penggunaan sistem instrumentasi ini, semua koloni masih dalam keadaan hidup.

4.4 Pengaruh Pencahayaan terhadap Produktivitas dan Kualitas Propolis

Cahaya, yang dalam penelitian ini menjadi variabel terikat dari jenis sarang bersama dengan temperatur dan kelembapan menjadi faktor yang dapat berpengaruh dalam produktivitas dan kualitas propolis yang dihasilkan oleh lebah *T. laeviceps*. Pengaruh cahaya terhadap produktivitas propolis dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengaruh cahaya (jenis sarang) terhadap produktivitas dan kualitas ekstrak propolis

Variasi	Produktivitas propolis (gram/koloni pekan)	Kandungan flavonoid (mg QE/gram)
KB (7 lux)	2,4	2
KK (43 lux)	1,7	10,5
K1 (43 lux)	2	4,1
K2 (43 lux)	2,3	14,3
KA (165 lux)	2,1	2,2
A (~50.000 lux)	0,1	1,4
Salatnaya [6]	0,3	2,88
Santos dkk [25]	-	13,7
Cibodas [26]	1,25	14,8
Cileunyi Wetan [26]	0,95	11,4

Keterangan : KK = sarang MOTIVE kontrol kayu, K1 = sarang MOTIVE kayu 1, K2 = sarang MOTIVE kayu 2, A = sarang MOTIVE akrilik, KA = sarang MOTIVE kontrol akrilik, KB = sarang kontrol bambu

Berdasarkan produktivitas propolis, didapatkan bahwa KB memiliki produktivitas propolis tertinggi. Apabila melihat profil produk yang lain serta Tabel 4, dapat dikatakan bahwa intensitas cahaya yang terlalu banyak dapat menghambat produksi propolis, padahal menurut Salatnaya, propolis pada lebah tanpa sengat dihasilkan karena adanya cahaya pada sarang [6]. Hal ini dapat terjadi karena lebah hanya fokus pada bagian yang tingkat intensitas cahayanya lebih tinggi dibandingkan kondisi sarangnya [15]. Kondisi ini menjelaskan kemampuan lebah dalam memproduksi propolis adalah karena beda intensitas cahaya yang tinggi antara lubang dengan kondisi sarang. Pada saat kondisi intensitas cahaya tinggi (~50.000 lux) pada sarang relatif sama di semua titik, lebah tidak menganggap hal tersebut sebagai sesuatu yang harus ditutupi dengan propolis, seperti terlihat pada sarang MOTIVE akrilik kontrol. Hal ini dapat diverifikasi lebih lanjut pada penelitian selanjutnya.

Melalui sistem instrumentasi yang terpasang, diketahui bahwa untuk produksi propolis yang lebih tinggi pengaturan sarang harus diatur agar temperatur dan kelembapannya memiliki variansi yang rendah, atau kondisi sarang relatif stabil sepanjang tahun yang dapat dilihat pada Tabel 2. Temperatur dan kelembapan yang terpantau pada sensor juga menyatakan kondisi sarang pada rata-rata temperatur 20,7°C dan kelembapan 83,6% menghasilkan propolis yang tertinggi dari sarang MOTIVE yang dilengkapi sensor dan kondisi intensitas cahaya yang relatif rendah dibandingkan dengan sarang MOTIVE akrilik.

Produktivitas propolis sarang MOTIVE kayu 1 yang lebih rendah dibandingkan sarang MOTIVE akrilik juga menjelaskan bahwa intensitas cahaya yang rendah (7-150 lux) tidak cukup untuk menjamin produktivitas propolis yang tinggi, melainkan juga harus digabung dengan variansi temperatur serta kelembapan yang kecil. Hal ini dapat diverifikasi lebih lanjut pada penelitian berikutnya.

Intensitas cahaya, terutama cahaya matahari yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan fluktuasi temperatur yang besar. Naiknya temperatur hingga mencapai 34°C membuat lebah pekerja harus mengumpulkan air terlebih dahulu dibandingkan memproduksi propolis atau madu [5]. Selain itu, banyaknya propolis yang dihasilkan di sarang MOTIVE kayu 2 juga menunjukkan koloni lebah menggunakan propolis sebagai insulasi panas agar temperatur dan kelembapan sarang relatif stabil [5].

4.5 Ekstraksi Propolis

Hasil ekstraksi propolis yang didapat pada penelitian ini digunakan untuk mengukur kualitas propolis, yaitu flavonoid. Flavonoid yang digunakan menggunakan basis ekivalen kuersetin (QE). Hasil ekstraksi propolis baik propolis kawat maupun *bulk* dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan profil data, tidak ada pengaruh intensitas cahaya kandungan flavonoid propolis. Namun, dapat dilihat bahwa propolis dari sarang MOTIVE relatif lebih banyak mengandung flavonoid dibandingkan propolis *bulk* pada sarang bambu. Hal ini disebabkan struktur propolis pada kawat MOTIVE tidak padat seperti propolis *bulk*, sehingga lebih mudah dipisahkan melalui maserasi. Namun berdasarkan standar pasar propolis yang dikembangkan di Brazil, propolis ekstrak harus memiliki kandungan flavonoid minimal 5 mg QE/gram [27]. Propolis yang dihasilkan dari sarang MOTIVE kayu yang diletakkan di Desa Cileunyi Wetan hanya satu sarang yang tidak memiliki kriteria tersebut, sehingga penelitian selanjutnya dapat fokus pada cara ekstraksi propolis agar mendapatkan flavonoid yang berlimpah, tidak hanya produktivitas propolis yang tinggi. Penelitian dari Santos, Salatnaya dan Adam juga menunjukkan kandungan flavonoid

propolis sangat dipengaruhi oleh genetika dari lebah, selain tempat kultivasi serta mikroklimat pada tempat kultivasi tersebut, yang menunjukkan perbedaan jumlah flavonoid yang dihasilkan di penelitian ini dan penelitian Adam walaupun di tempat yang sama [25, 6, 26].

4.6 Estimasi Produksi Propolis dengan sarang MOTIVE

Berdasarkan penelitian dari Adam, terdapat pengaruh tempat kultivasi dari lebah terhadap produksi propolis [26]. Hal ini diperkuat dengan pernyataan Bankova yang menyatakan bahwa setiap propolis memiliki karakteristik senyawa yang berbeda dan memiliki kemiripan terhadap senyawa yang terkandung dalam resin pohon [4]. Hasil perolehan propolis juga dapat berpengaruh dengan adanya faktor tempat kultivasi. Perolehan propolis dapat diestimasi produktivitas tahunannya dengan memakai data pekanan dari penelitian ini dan Adam, sehingga dapat diketahui daerah yang lebih cocok untuk produksi propolis dalam skala massal [26]. Estimasi produktivitas tahunan pada dua tempat, yakni Cibodas, Kab. Bandung Barat dan Desa Cileunyi Wetan, Kab. Bandung terdapat pada Tabel 5.

Tabel 5. Estimasi produktivitas propolis

Variasi	Rentang produktivitas propolis (gram/koloni/pekan)	Rentang produktivitas propolis (gram/koloni/tahun)
Propolis Cibodas [26]	1,25	54,6
Propolis Cileunyi Wetan [26]	0,95	49,4
Propolis Cileunyi Wetan	1,7-2,3	88,4-119,6
Sarang bambu	2,4	124,8
Stup konvensional [6]	0,3	18,5

Terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara penelitian ini dan Adam. Salah satu hal yang berpengaruh adalah musim. Penelitian Adam dilaksanakan pada Agustus-November 2017, sedangkan penelitian ini dilaksanakan pada Januari-Mei 2018. Perbedaan intensitas hujan dan cahaya matahari sangat mungkin terjadi, dan menghasilkan perbedaan mikroklimat yang berujung pada perbedaan produktivitas propolis [4, 6]. Pada musim hujan, aktivitas lebah berkurang karena kelembaban yang tinggi dan temperatur yang rendah [15].

4.7 Pengembangan Penelitian

Penelitian ini memiliki banyak faktor yang dapat dikembangkan lebih lanjut, diantaranya penggunaan sarang yang lebih banyak dengan waktu yang lebih lama. Pemasangan

aktuator seperti elemen pengendalian temperatur juga dapat diaplikasikan agar terdapat elemen pengendalian pada sistem instrumentasi ini. Integrasi sistem instrumentasi dengan perangkat telepon genggam dan komputasi awan juga dapat digunakan sehingga pengecekan data dan perawatan dapat diketahui *real time* tanpa pengamatan langsung di tempat penelitian. Sumber tenaga yang kecil juga memungkinkan pemakaian energi alternatif untuk sistem ini, seperti contohnya sel surya. Aplikasi ini tentu dapat dimanfaatkan apabila sistem ini diterapkan pada lahan yang jauh dari sumber listrik, sebagaimana peternakan lebah pada umumnya.

5 Kesimpulan

Sistem instrumentasi untuk akuisisi data pada sarang MOTIVE berhasil dikembangkan dengan menggunakan sensor digital, Arduino dan Raspberry Pi melalui antarmuka Arduino dan Python. Temperatur dan kelembapan sarang dipengaruhi perbedaan bahan dan posisi sarang. Produktivitas propolis yang tinggi dipengaruhi oleh intensitas cahaya di dalam sarang yang rendah (7-150 lux), temperatur dan kelembapan pada rentang 83-84% dan 20-21°C serta variasi temperatur dan kelembapan yang rendah. Tidak ada pengaruh intensitas cahaya pada kandungan flavonoid di dalam ekstrak propolis. Ekstrak propolis yang dihasilkan dari sarang MOTIVE kayu memiliki kandungan flavonoid tertinggi mencapai 14,3 mg QE/gram.

6 Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada warga Cibeusi, Desa Cileunyi Wetan terutama Pak Iwan dan keluarga yang sudah menyediakan tempat penelitian penulis.

7 Daftar Pustaka

- [1] *Propolis Market size for propolis is about to grow at rate of 3.50%*. (29 November 2017). Diterima dari <http://heraldkeeper.com/featured/propolis-market-size-propolis-grow-rate-3-50-37906.html>
- [2] Burdock, G. A., Review of the biological properties and toxicity of bee propolis (propolis). *Food and Chemical Toxicology*, [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(97\)00145-2](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(97)00145-2). 1998.
- [3] Castaldo, S., & Capasso, F., *Propolis, an old remedy used in modern medicine. Fitoterapia*. [https://doi.org/10.1016/S0367-326X\(02\)00185-5](https://doi.org/10.1016/S0367-326X(02)00185-5). 2002
- [4] Bankova, V., Dylgerov, A., Popov, S., Evstatieva, L., Kuleva, L., Pureb, O., & Zamjansan, Z., *Propolis produced in Bulgaria and Mongolia: phenolic compounds and plant origin*, *Apidologie*, 23(1), 79-85. 1992.
- [5] Megan, H., Robert, S., & Anne, D., *Pot - Honey A Legacy of Stingless Bees*. Springer: New York , Heidelberg , Dordrecht , London (pp. 35–72).2013.
- [6] Salatnaya, H., *Productivity of Trigona spp. as a Propolis Producer at Monoculture and Policulture Nutmeg Plantation in East Java*, Tesis : IPB. 2012.
- [7] Adam, A., Oktaviani, L., Hakim, M. N. , Inderaja, B. M. , & Abduh, M. Y., *Integrated Cultivation of Coffee and Tetragonula Bees Using a Bio-refinery Concept Towards Sustainable Bio-industry Development.*, *Proceeding of Jember International Coffee Conference 2017*. 2017
- [8] Eikle, W. G. M., & Olst, N. H., *Application of continuous monitoring of honeybee colonies*, 10–22. <https://doi.org/10.1007/s13592-014-0298-x>. 2015
- [9] Zacepins, A., & Stalidzans, E., *Architecture of automatized control system for honey*

- bee indoor wintering process monitoring and control*, 772–775. 2012
- [10] Harun, A., Zaaba, S. K., Kamarudin, L. M., Zakaria, A., Farook, R. M., Ndzi, D. L., & Shakaff, A. Y. M., *Stingless bee colony health sensing through integrated wireless system*, J. Teknol.(Sci. Eng.), 77, 85-90. 2015.
 - [11] Susanto, D., *Sistem Pemantauan Cuaca Berbasis Komputasi Paralel*, Tesis : IPB. 2017
 - [12] Machado, B. A. S., Silva, R. P. D., Barreto, G. D. A., Costa, S. S., Da Silva, D. F., Brandão, H. N. Padilha, F. F., *Chemical composition and biological activity of extracts obtained by supercritical extraction and ethanolic extraction of brown, green and red propolis derived from different geographic regions in Brazil*, PLoS ONE, 11(1), 1–26. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145954>. 2016
 - [13] Shah, K., *Power Analysis of Continuous Data Capture in BeePi , a Solar- Powered Multi-Sensor Electronic Beehive Monitoring System for Langstroth Beehives*, Tesis : Utah State University. 2017
 - [14] Liu, C., Leonard, J. J., & Feddes, J. J., *Automated Monitoring of Flight Activity at a Beehive Entrance using Infrared Light Sensors*, Journal of Apicultural Research, 29:1, 20-27, DOI: 10.1080/00218839.1990.11101193. 1990
 - [15] Biesmeijer, J. C., Slaa, E. J., & Koedam, D., *How stingless bees solve traffic problems*. Entomologische Berichten, 67, 7–13. 2007.
 - [16] Bayle, J. , *C programming for Arduino*. United Kingdom : Packt Publishing Ltd.
 - [17] Ferdoush, S., & Li, X. *Wireless sensor network system design using Raspberry Pi and Arduino for environmental monitoring applications*. Procedia Computer Science, 34, 103-110. 2014. 2013.
 - [18] Furukawa, Y., & Moronuki, N., *Effect of material properties on ultra precise cutting processes*. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 37(1), 113-116. 1998.
 - [19] Chuttong, B., & Burgett, M., *Biometric Studies of the Stingless Bee Tetragonula laeviceps Complex (Apidae: Meliponini) from Northern Thailand*, 32, 359–362. <https://doi.org/10.17519/apiculture.2017.11.32.4.359>. 2017.
 - [20] Nascimento D.L. do, Nascimento F.S., *Extreme effect of season on the foraging activities and colony productivity of a stingless bee (Melipona asilvai Moure, 1971) in Northeast Brazil*, H Pub Corp Psyche. Research Article :1-6. 2012.
 - [21] Ismawan, R. T., *Aktivitas Terbang dan Pertambahan Bobot Koloni Trigona laeviceps laeviceps pada Bahan Stup Berbeda Sebelum dan Setelah Introduksi Introduksi Koloni Baru*, Skripsi : IPB. 2013.
 - [22] Gojmerac, W. L., *Bee, Beekeeping, Honey and Pollination*, Westport: AVI.
 - [23] Karimaghaee, P., Amidi, A., & Roshandel, E., *A high precision magnetic based linear displacement sensor*. In Control, Instrumentation, and Automation (ICCIA), 2017 5th International Conference on (pp. 265-269). IEEE. 1983. 2017
 - [24] Santos, F. A., E. M., A. B., M. U., M. A., Farias, L. M., & Moreira, E. S. ,*Brazilian Propolis: Physicochemical Properties, Plant Origin and Antibacterial Activity on Periodontopathogens*. PHYTOTHERAPY RESEARCH, 17, 285-289. 2003
 - [25] Tang, L., Tennant, J. K., Forster, A., & Reddy, M., *Acetabular cup seating impact sensing for press-fit acetabular cup fixation*, In Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA), 2016 12th IEEE/ASME International Conference on (pp. 1-6). IEEE. 2016.
 - [26] Adam, A., *Pengaruh Perbedaan Lokasi Kultivasi terhadap Produktivitas dan Kualitas Propolis dan Madu Hasil Budidaya Lebah Tetragonula laeviceps Menggunakan Sarang Modular Tetragonula Hive*, Repository Tugas Akhir SITH ITB 2018 Vol.1. ITB. 2018.
 - [27] Tagliacollo, V. A., & Orsi, R. d., *Quality of propolis commercialized in the informal market*, Ciência e Tecnologia de Alimentos, 31(3), 752-757. 2011.