

PENGEMBANGAN UNIT PENGELOLAAN LIMBAH SISTEM MANAJEMEN LIMBAH (SIMALIM) DENGAN SMART URBAN FARMING DALAM MENGELOLA LIMBAH ORGANIK DI KAMPUS USU

M. Ichwan¹, Ameilia Zuliyanti Siregar^{2*}, Eri Yusni², Tulus Ikhsan Nasution³

¹Fakultas Kedokteran, Universitas Sumatera Utara,

Jl. Dr. Mansyur No.5 Padang Bulan, Medan, Sumatera Utara 20155.

²Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara

Jl. Dr.A.Sofyan No 3 Kampus USU, P. Bulan, Medan, Sumatera Utara 20155

³Fakultas MIPA, Universitas Sumatera Utara

Jl. Bioteknologi No 1 Kampus USU, P. Bulan, Medan, Sumatera Utara 20155

*Email: Ameilia@usu.ac.id

Abstrak

Universitas Sumatera Utara memiliki civitas akademika yang berkontribusi menghasilkan limbah organik yang cukup signifikan. Mendukung *Green Campus* mencapai peringkat di *UI Greenmetric*, perlu dikembangkan Unit Pengelolaan Limbah Sistem Manajemen (*Simalim*) Dengan *Smart Urban Farming* yang baik dan terpadu. *UPL Simalim* dibentuk bertujuan sebagai wahana pendidikan. penelitian bagi masyarakat, mahasiswa dan dosen. Disamping itu, menghasilkan produk yang bermanfaat dengan mensinergikan pemanfaatan larva *Hermetia illucens/Black Soldier Fly (BSF)*, *ekoenzim*, *aquaponik* dan *smart urban farming* dengan mengelola limbah organik dari kantin dan perumahan warga di sekitar USU. Pengabdian ini dilaksanakan sejak bulan Agustus 2020 sampai dengan Desember 2020 pada Tahap pertama, berlokasi di Tempat Pembuangan Sampah (TPS) USU di Jl. Tri Dharma dan *roof top garden* dari UPT Lab Terpadu USU, melibatkan secara partisipatif dan melatih para mahasiswa sebagai *duta ecocampus* dan juga tim *UI Green metric USU*. Pengelolaan sampah organik dilakukan dengan *rearing BSF* pada sampah yang akan diuraikan. Manakala sistem *akuaponik*, dibudidayakan ikan gabus, nila dan lele serta sayuran organik. Produk ini dapat dijadikan komoditas kampus yang merupakan *income generating*. Diharapkan *UPL Simalim* dapat menjadi model bagi pengelolaan sampah organik tepat guna di Perguruan Tinggi yang ada di Indonesia.

Kata kunci: Limbah organik; larva *BSF*, *ekoenzim*, *aquaponik*, *smart urban farming format*.

PENDAHULUAN

Limbah organik merupakan komponen terbesar dari limbah yang dihasilkan dalam kegiatan rumah tangga. Kota Medan yang berpenduduk lebih dari 2 juta jiwa menghasilkan hampir 2000 ton sampah per hari, berarti setiap individu menghasilkan sekitar 1 kg sampah per hari. Lebih dari 50% sampah tersebut merupakan sampah organik (Dalimunthe, 2018) yang berasal sebagian dari kontribusi civitas akademika yang jumlahnya ribuan orang di Universitas Sumatera Utara. Selama ini, sampah yang dihasilkan akan disatukan di Tempat Pembuangan Sampah Sementara (TPS) dan kemudian akan diangkut oleh Dinas Kebersihan Kota untuk dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Timbunan sampah yang bercampur baur ini akan menghasilkan gas metan, salah satu gas rumah kaca, yang dampak buruknya terhadap perubahan iklim adalah 84 kali lebih besar dibandingkan karbondioksida (IPCC, 2014). Maka dari itu diperlukan penanganan yang bijak terhadap limbah organik agar dapat diolah menjadi bahan yang bermanfaat dan tidak membebani lingkungan.

Sebagai salah satu kampus yang berdedikasi sebagai Kampus Hijau (*Green Campus*) dan secara aktif terlibat dalam pemeringkatan *UI Greenmetric World University Ranking*, maka sangat perlu adanya sistem pengelolaan limbah yang baik di dalam lingkungan kampus USU. Limbah organik yang dikelola dengan baik akan dapat menghasilkan produk-produk yang bernilai ekonomi seperti pupuk, pakan ternak dan biogas (Indriyanti, Banowati and Margunani, 2015; Sunyoto dkk., 2016). Disamping itu juga dapat dilakukan pengolahan limbah sisa kulit buah dan sayur yang dapat menghasilkan *Eco Enzyme* atau *Garbage Enzyme* yang nantinya juga dapat diolah menjadi bahan baku pupuk cair, pestisida organik dan bahan campuran kosmetik (Tang and Tong, 2011; Sunar, Kumar and Deshmukh, 2016).

Cara lain dalam mengolah limbah organik adalah dengan memanfaatkan larva (maggot) dari *Hermetia illucens/Black Soldier Fly (BSF)*. Larva lalat ini akan memakan sampah organik tanpa menghasilkan aroma tak sedap dan setelah mencapai usia dan ukuran tertentu, larva tadi dapat diolah menjadi pakan ikan atau ternak yang bernilai ekonomi (Monita dkk., 2017). Selama ini, banyak komunitas di masyarakat sudah melakukan kegiatan pengelolaan limbah organik dengan berbagai metode ini, namun belum ada yang melakukan seluruh kegiatan ini secara terpadu dan menggunakan teknologi sistem informasi. Dengan demikian unit kegiatan PPUPIK yang akan dilaksanakan ini juga akan berperan sebagai situs percontohan dan pusat pelatihan bagi masyarakat yang ingin mempelajari mengenai pengelolaan limbah organik rumah tangga. Disamping itu, dalam kegiatan ini akan diterapkan sistem Aquaponik yang akan mengabungkan pertanian hidroponik dan pemeliharaan ikan (dos Santos, 2016). Dengan adanya kerjasama dengan mitra yaitu PJ. Akar Rimba, jenis ikan yang akan dibudidayakan adalah ikan gabus (*Channa striata*) yang juga merupakan bahan baku bagi mitra dalam membuat produknya.

Kegiatan aprogram Pengembangan Usaha Produk Intelektual Kampus (PPUPIK) USU yang dilaksanakan akan mengelola limbah organik yang berasal dari kantin atau perumahan dosen di lingkungan kampus yang kemudian akan dinamakan Sistem Manajemen Limbah (SiMaLim). Limbah yang masuk ke unit akan diolah sehingga akan menghasilkan kompos, pupuk cair, Mol EM4, dan Larva lalat BSF yang dibekukan. Disamping itu juga akan dibangun beberapa unit akuaponik yang membudidayakan sayuran organik dan juga ikan gabus, lele dan nila organik. Dengan memanfaatkan teknologi sensor, diharapkan hasil yang didapat juga akan berkualitas (Kyaw and Ng, 2017).

Selanjutnya akan dilakukan pengolahan larva lalat *H. illucens* BSF menjadi campuran pakan ikan dan ternak dalam bentuk pelet. Dengan formulasi yang tepat akan diperoleh komposisi nilai gizi yang dapat mempercepat pertumbuhan ikan/ternak. Formulasi ini tentunya akan berpotensi untuk diajukan HKI-nya. Untuk pemasaran produk akan dibuat secara eksklusif untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan sayuran dan ikan organik yang berkualitas. Sasaran pasar adalah para civitas akademika USU dan juga masyarakat. Sistem urban farming aquaponik yang memanfaatkan *roof top* atau pekarangan atas rumah dalam proses monitoring dengan sistem teknologi informasi menggunakan sensor. Dengan demikian sistem ini diprediksikan dapat dikomersialisasikan untuk masyarakat yang ingin melakukan *urban farming* di halaman teratas atap rumah dengan cara otomatisasi dalam kegiatan ini. Sistem ini akan lebih dikembangkan agar lebih “*user friendly*” dan berpotensi mendapatkan HKI (Vernandhes et al., 2018).

METODE

Bahan baku yang dibutuhkan adalah limbah organik dari kantin di kampus USU. Kapasitas daya tampung untuk tahap awal ini adalah 50 kg/hari. Khusus untuk membuat ekoenzim, dapat ditampung 10 kg kulit buah/hari. Kontinuitas bahan baku dapat dipastikan berlimpah dan mungkin melebihi daya tampung. Bibit lalat BSF diperoleh dari PJ Akar Rimba yang merupakan mitra dalam kegiatan ini. Untuk memelihara lalat dewasa yang nantinya akan bertelur dan menghasilkan larva, maka diperlukan 2 buah kandang jaring. Satu kandang dapat menampung 1,5 kg pupa bakal lalat. Selanjutnya disiapkan ruang/kotak penetasan yang diperlukan untuk menetas telur menjadi larva muda. Larva dibiarkan selama 7 hari di dalam ruang penetasan yang tidak terkena cahaya matahari. Kemudian *H.illucens* BSF dimasukkan ke Biopon yang berukuran 3 x 1 meter yang dibuat 3 tingkat. Pada tingkat paling bawah adalah untuk pemeliharaan larva untuk keperluan pembibitan menjadi lalat baru. Sementara di tingkat 2 dan 3 untuk mengurai limbah. Larva mengurai limbah hingga berusia 4 minggu. Kemudian sebagian besar larva dipanen untuk pakan ikan/ternak dan sampah yang sudah diurai dapat dikeringkan dan dikemas menjadi pupuk kompos, sementara 20% dari populasi larva tadi dipindahkan ke rak paling bawah untuk dibesarkan menjadi lalat dewasa. Dari hasil penguraian limbah akan dihasilkan air lindi (*leachate*) yang kemudian ditampung di dalam tong untuk fermentasi lanjutan menjadi pupuk cair.

Larva *H.illucens* yang diperoleh dari proses penguraian limbah akan dimanfaatkan menjadi pakan ikan yang dibudidaya terintegrasi dengan sistem hidroponik didalam aquaponik. Sistem Aquaponik ini terbukti dapat bersimbiosis satusama lainnya dimana ikan akan memberikan nitrogen kepada tanaman hidroponik dan tanaman nya juga akan menyaring air sehingga kadar oksigen air meningkat. Untuk pengaturan pemberian pakan, mengukur pH dan suhu air dibuat

biosensor yang dihubungkan dengan jaringan internet sehingga dapat selalu dimonitor dari mana saja. Saat ini di Roof top UPT lab terpadu sudah ada 2 unit aquaponic. Akan dilakukan penambahan 2 unit lagi di rooftop dan 2 unit di TPS USU. Selanjutnya, sisa kulit buah dan sayur dicacah dan difermentasi didalam larutan molase dan air selama 3 bulan. Cairan yang terbentuk dapat digunakan sebagai cairan pestisida, pupuk cair, antiseptik, membersihkan selokan/badan air, cairan pembersih rumah tangga (pengganti detergen) serta bahan dasar kosmetik. Sementara ampasnya dapat langsung dijadikan pupuk untuk tanaman.

Kemudian lahan sempit di pekarangan rumah diatap atas atau *roof top* dapat dijadikan lokasi untuk berkebun di dalam pot, lebih dikenal sebagai *Urban Farming*. Dengan menggunakan kompos dan pupuk cair yang berasal dari penguraian sampah, hasil produksi dapat ditingkatkan. Pengendalian hama juga dapat dilakukan dengan penyemprotan menggunakan ekoenzim.

Untuk lokasi pengepulan limbah dan pemeliharaan lalat dan larva *H.illucens* BSF akan dilaksanakan di Tempat Pembuangan Sampah USU di Jalan Tri Dharma (dekat Gang Susuk). Mesin pencacah sampah organik harus disediakan untuk persiapan sampah sebelum diberi ke larva. Untuk mengurai sampah dengan larva masih harus disiapkan biopon. Kegiatan *Urban Farming* dan Aquaponik akan mengambil tempat di *rooftop* UPT Lab Terpadu USU. Sudah ada 2 set perlengkapan untuk aquaponik, dan akan ditambahkan 2 set lagi. Pada *rooftop* ini akan dipelihara ikan nila dan lele oleh karena jenis ikan ini yang dapat bertahan di suhu panas. Untuk aquaponik ikan gabus disiapkan 2 set di TPS USU.

Unit pengelolaan sampah ini juga dilaksanakan bersama dengan tim penerangan UI Greenmetric USU yang didukung oleh USU. Namun demikian, unit ini diupayakan dapat menjadi income generating bagi USU. Untuk itu, tim PPUPIK akan berkoordinasi dengan Biro Sirebang untuk menyusun struktur manajemen unit ini dengan tujuan akan dibentuk Unit Pelaksana Teknis (UPT) Pengelolaan Sampah Terpadu di lingkungan USU. Tim PPUPIK tetap akan melibatkan alumni USU untuk membantu dalam hal akunting dan tata kelola keuangan lainnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

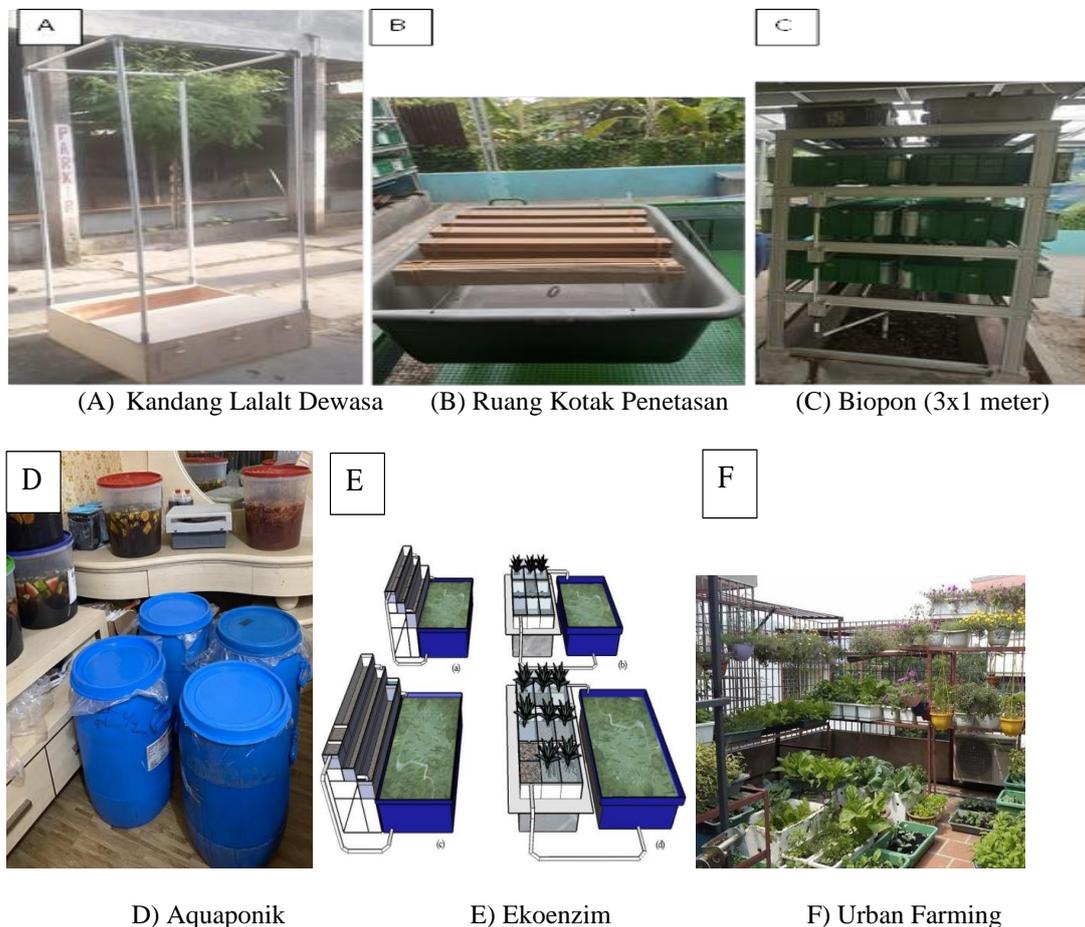
“Suatu hal yang urgen bagi USU untuk memiliki suatu unit pengelolaan limbah yang juga dapat dijadikan wahana pendidikan dan penelitian bagi masyarakat, mahasiswa dan dosen,” ujar ketua LPPM USU, *Prof.Tulus, Vor. Dipl. Math, M.Si, Ph.D* melalui Pengabdian Masyarakat (Pemas) Skim Program Pengembangan Produk Intelektual Kampus (PPUPIK) LPPM USU. Kegiatan pemas ini berlangsung sejak bulan Juni sampai Nopember 2020.

Menurut Ketua tim skema Program Pengembangan Produk Intelektual Kampus (PPUPIK) LPPM USU, *Dr rer medic dr M.Ichwan, M.Sc* pada sesi pengecekan lokasi dan berfoto bersama tim (Gambar 1) pada hari Sabtu, 29 Agustus 2020 di TPS USU menyatakan “Limbah organik yang berasal dari kantin dan perumahan di lingkungan USU dapat dikelola menjadi kompos, pupuk cair ataupun biogas yang bermanfaat dan bernilai ekonomis. Salah satunya dilakukan dengan pemanfaatan larva lalat Black Soldier Flies (BSF) telah banyak digunakan untuk mempercepat proses pengomposan. Di samping itu, larva yang sudah besar dapat dimanfaatkan untuk pakan ayam ataupun ikan”.



Gambar 1. Tim Pengabdian PPUPIK dilokasi TPS USU

Mendukung kegiatan ini, *Ameilia Zuliyanti Siregar, M.Sc,Ph.D* sebagai anggota tim PPUIK LPPM USU menyampaikan “Lalat betina dewasa *H.illucens* meletakkan telurnya di dekat limbah organik sayuran, buah dan sisa makanan/kotoran, dan akan mati setelah itu. Lalat *H. illucens* alias BSF dewasa mengkonsumsi air dan tidak berbahaya bagi manusia oleh karena tidak menyengat dan tidak membawa penyakit (vektor).” Mendukung fungsi TPS USU dapat menjadi TPA maka dilakukan persiapan alat-alat yang digunakan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2. Mekanisme persiapan rearing BSF-Aquaponik-Ekoenzim-Urban Farming

Untuk pelaksanaan di lapangan sehari-hari akan dilakukan oleh karyawan yang bekerja di TPS USU sejumlah 2 orang. Beberapa staf yang ada di UPT Lab Terpadu juga akan dilibatkan sebanyak 1 orang untuk mengelola sistem rooftop urban farming. Setiap org akan diberikan insentif sebesar 500 ribu/bulan/orang. Mahasiswa yang ingin melakukan praktikum/pelatihan/penelitian juga akan dilibatkan dalam pengelolaan kegiatan. Sarana dan fasilitas yang digunakan adalah TPS USU dan *Roof top* UPT Lab Terpadu USU. Untuk pembiayaan tempat dan listrik/air merupakan bantuan *in kind* dari USU karena kegiatan ini juga mendukung program Green Campus USU.

Pada lokasi kegiatan telah dibangun kandang lalat BSF dewasa. Aktivitas perdana dilakukan pemeliharaan dan perbanyakan (rearing) *H.illucens* dengan memberikan dua jenis pakan, yaitu sisa kulit dan buah-buahan (jeruk, salak, papaya, pisang, apel, mangga) dan sisa sayuran (kangkung, bayam, sawi, kentang), nasi merah dan kulit telur seperti terlihat pada deskripsi Gambar 3 dibawah ini



A) Sumber makanan sisa buah-buahan B) Sumber makanan dari sisa sayuran, nasi, kulit telur
 Gambar 3. Pemberian pakan *H.illucens* BSF dalam proses pemeliharaan dan perbanyakan (*rearing*)

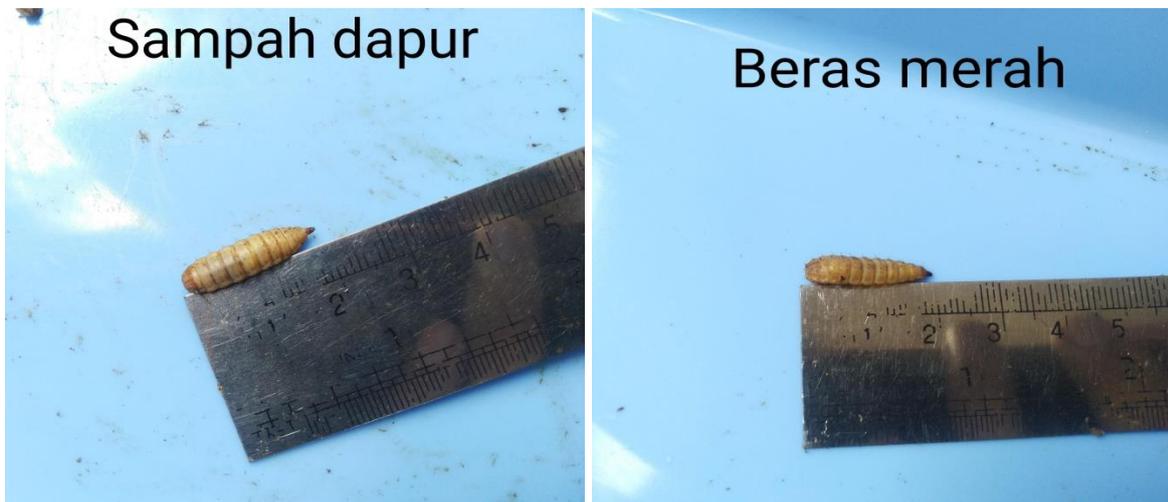
Hasil Tabel 1 dibawah ini menunjukkan pengukuran pertumbuhan (panjang dan lebar) larva *H.illuscens*, BSF setelah seminggu menetas dari telur dengan jumlah yang masih dalam kisaran hampir sama (Panjang=1.6-2,5 cm; lebar=0.1-0.4 cm).

Tabel 1. Pengukuran pertumbuhan larva *H.illucens*, BSF STHM

Waktu Diukur	Sumber Makanan buah-buahan		Sumber makanan sayur-sayuran	
	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)
Hari 1	1.6	0.1	1.5	0.1
Hari 2	1.8	0.2	1.6	0.1
Hari 3	2.1	0.2	1.8	0.2
Hari 4	2.2	0.3	2.0	0.2
Hari 5	2.3	0.3	2.1	0.3
Hari 6	2.5	0.4	2.3	0.3

Catatan: STHM= Setelah 7 Hari Menetas (Sumber: Koleksi Data, 2020)

Black Soldier Fly (BSF) berwarna hitam dengan segmen basal abdomen berwarna transparan (*wasp waist*). Panjang lalat berkisar antara 15-20 mm dan mempunyai waktu hidup larva lima sampai delapan hari (Gambar 4) selanjutnya menuju dewasa. Saat lalat dewasa berkembang dari pupa, kondisi sayap terlipat lalu mengembang hingga menutupi torak. Lalat dewasa tidak memiliki bagian mulut fungsional, sebab beraktivitas untuk kawin dan bereproduksi, dimana kebutuhan nutrisi tergantung pada kandungan lemak yang disimpan saat pupa. Ketika simpanan lemak habis, maka lalat akan mati (Makkar et al. 2014).



A) Larva BSF mengkonsumsi buah-buahan B) Larva BSF mengkosumni Beras merah, sayuran, kulit telur
 Gambar 4. Pengukuran panjang dan lebar larva BSF, *H. illucens*

Telur hingga menjadi lalat dewasa berlangsung sekitar 40-43 hari, tergantung kondisi lingkungan dan ketersediaan media pakan. Lalat betina akan meletakkan telurnya di dekat sumber pakan, antara lain pada bongkahan kulit buah-buahan, tumpukan sisa sayuran, kotoran unggas atau ternak, tumpukan limbah bungkil inti sawit (BIS), dan limbah organik lainnya. Lalat betina tidak akan meletakkan telur di atas sumber pakan secara langsung dan tidak akan mudah terusik apabila sedang bertelur. Oleh karena itu, umumnya daun pisang yang telah kering atau potongan kardus yang berongga diletakkan di atas media pertumbuhan sebagai tempat bertelur dan habitat inangnya.

Menurut penelitian Rachmawati et al. (2010), seekor lalat betina BSF mampu memproduksi telur berkisar 185-1235 telur. Tomberlin & Sheppard (2002) berpendapat seekor betina memerlukan waktu 20-30 menit untuk bertelur dengan jumlah produksi sebanyak 546-1.505 butir.. Berat massa telur berkisar 15,8-19,8 mg dengan berat individu telur antara 0,026-0,030 mg. Waktu puncak bertelur dilaporkan terjadi sekitar pukul 14.00-15.00. Lalat betina dilaporkan hanya bertelur satu kali selama masa hidupnya, setelah itu mati. Berdasarkan jenis kelaminnya, lalat betina umumnya memiliki daya tahan hidup yang lebih pendek dibandingkan dengan lalat jantan.

Manakala biopon untuk pengomposan limbah organik yang begitu panjang berasal dari sisa makanan, serta kolam ikan dan instalasi hidroponik untuk pemanfaatan larva lalat sebagai pakan ikan yang akan dikelola oleh anggota tim PPUPIK, *Dr Eri Yusni, M.Sc* dengan perakitan instalasi faktor fisik lingkungan, seperti suhu, kelembaban, ph, debit air akan didesain oleh *Dr Tulus Ikhsan Nasution, S.Si, M.Sc* sehingga menghasilkan mekanisme alur kegiatan yang dideskripsikan Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Proses produksi UPL SiMalim TPS USU

Kegiatan ini secara langsung akan berdampak kepada berkurangnya limbah organik dari kampus USU yang dibuang ke TPA. Untuk USU sendiri, kegiatan ini akan memberikan poin yang sangat baik dalam pemeringkatan USU sebagai *Green Campus*. Selain kegiatan produksi, unit ini juga melakukan kegiatan edukasi berupa pelatihan dan pendidikan lingkungan bagi masyarakat. Masyarakat juga dapat mempelajari teknologi ini untuk diterapkan di rumah masing-masing. Dengan demikian diharapkan limbah organik akan dapat dikelola secara mandiri oleh masyarakat dan hasil olahan ini akan digunakan untuk menanam bahan pangan di lahan yang ada di rumah masing-masing untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Hal ini sangat dirasakan sekali pada era pandemi dan pembatasan sosial skala besar dimana terjadi pengurangan suplai bahan pangan misalnya sayuran dan palawija.

Sedangkan sasaran pasar dari produk sayur organik dan ikan organik yang dihasilkan adalah Civitas Akademika USU dan masyarakat menengah keatas. Oleh karena harga dari sayur organik ini relatif lebih mahal daripada sayur dan ikan yang dijual di pasar, maka diperlukan “branding” yang berkaitan dengan makanan organik sehat dan bebas cemaran bahan kimia. Ikan gabus yang dihasilkan akan dijual kepada PJ Akar Rimba dengan harga Rp. 30.000/kg. Larva beku dijual ke peternak ikan dengan harga 20000/kg. Kompos juga dapat dikemas dan dijual kepada pengunjung/peserta pelatihan dan masyarakat/civitas akademia. Promosi dapat dilakukan melalui media sosial.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pengabdian ini dilaksanakan sejak bulan Agustus 2020 sampai dengan Desember 2020 pada Tahap pertama, berlokasi di Tempat Pembuangan Sampah (TPS) USU di Jl. Tri Dharma dan roof top garden dari UPT Lab Terpadu USU, melibatkan secara partisipatif dan melatih para mahasiswa sebagai duta *ecocampus* dan Green Campus USU. Pemanfaatan Unit Pengolahan Limbah (UPL) menggunakan larva *Hermetia illucens*/Black Soldier Fly (BSF), ekoenzim, aquaponik dan smart urban farming dengan membudidayakan ikan gabus, nila dan lele serta sayuran organik yang dikumpulkan dari limbah organik dari kantin dan perumahan warga di sekitar USU diprediksikan menjadi salah satu alternatif dalam mengelola limbah rumah tangga tepat guna.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Green Campus, warga kampus USU, kantin, seluruh masyarakat yang telah memberikan dukungan baik secara motivasi dan moril. Edisi terima kasih khusus disampaikan kepada Bapak Rektor USU dan LPPM USU yang mengalokasikan pendanaan untuk Skim Program Program Pengembangan Produk Intelektual Kampus (PPUPIK) Non BNPB Nomor 288/UN5.2.3.2.1/PPM/2020, Tanggal 9 Juni 2020 Dalam Pengembangan Unit Pengelolaan Limbah Sistem Manajemen Limbah (SIMALIM) Dengan Smart Urban Farming Dalam Mengelola Limbah Organik Di Kampus USU.

DAFTAR PUSTAKA

- Dalimunthe, R. A. 2018. Studi Karakteristik Sampah Rumah Tangga di Kecamatan Medan Area dan Kecamatan Medan Polonia di Kota Medan (Timbulan, Karakteristik, dan Nilai Kalor). Universitas Sumatera Utara. Available at: <http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/9206>.
- Indriyanti, D. R., Banowati, E. and Margunani, M. 2015. Pengolahan Limbah Organik Sampah Pasar Menjadi Kompos. *Jurnal ABDIMAS* 19 1: 43–48.
- IPCC.2014. Climate Change. 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.
- Kyaw, T. Y. and Ng, A. K. 2017. Smart Aquaponics System for Urban Farming in Energy Procedia. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.12.694.
- Monita, L. et al. 2017. Pengolahan Sampah Organik Perkotaan Menggunakan Larva Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*). *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* 7(3): 227–234.
- dos Santos, M. J. P. L. 2016. Smart cities and urban areas—Aquaponics as innovative urban agriculture. *Urban Forestry and Urban Greening*. DOI: 10.1016/j.ufug.2016.10.004.
- Rachmawati, Damayanti Buchori, Purnama Hidayat, Saurin Hem. 2010. Perkembangan dan Kandungan Nutrisi Larva *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) pada Bungkil Kelapa Sawit. *Jurnal Entomologi Indonesia* 7(1):28. DOI: 10.5994/jei.7.1.28
- Sunar, K., Kumar, U. and Deshmukh, S. K. 2016. Recent Applications of Enzymes in Personal Care Products’, in *Agro-Industrial Wastes as Feedstock for Enzyme Production: Apply and Exploit the Emerging and Valuable Use Options of Waste Biomass*. DOI: 10.1016/B978-0-12-802392-1.00012-5.
- Sunyoto, S., Saputro, D. D. and Suwahyo, S. 2016. Pengolahan Sampah Organik Menggunakan Reaktor Biogas di Kabupaten Kendal. *Jurnal Rekayasa* 14 1: 29–36.
- Tang, F. E. and Tong, C. W. 2011. A Study of the Garbage Enzyme’s Effects in Domestic Wastewater. *International Journal of Environemntal*.

- Jeffery K. Tomberlin, D. Craig Sheppard, John A. Joyce, Barbara C. Kiser, Sonya M. Sumner.2020. Rearing Methods for the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Medical Entomology* 39 4: 695–698. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-39.4.695>.
- Vernandhes, W.2018. Smart aquaponic with monitoring and control system based on IoT in Proceedings of the 2nd International Conference on Informatics and Computing. ICIC 2017. DOI: 10.1109/IAC.2017.8280590.