

NASKAH ORISINAL

Implementasi Sistem *Monitoring* Proses Fermentasi dan Kualitas Silase dari Rumput Pakchong pada Bank Pakan Peternakan Sapi Perah

Ruri Agung Wahyuono^{1,3,*} | Doty Dewi Risanti¹ | Gita Widhi Bawika^{2,3} | Annisa Septyana Ningrum¹ | Arda Fridua Putra¹ | Raphael Christanto¹ | Muhammad Nuril Islam¹ | Wendy Anugerah Putra Wibowo¹ | Satria Ahmadsyah Murdianto¹ | Erick Rafael Sihombing¹ | Zidan Dani Bimatara¹ | Yudhistira Septian Aptadi¹ | Yusuf Chandra¹

¹Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

²Departemen Manajemen Bisnis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

³Program Magister Inovasi Sistem dan Teknologi, Sekolah Interdisiplin Manajemen dan Teknologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Korespondensi

*Ruri Agung Wahyuono, Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia. Alamat e-mail: wahyuono@its.ac.id

Alamat

Laboratorium Material Fungsional Maju, Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Abstrak

Peternak sapi perah di Desa Blarang memanfaatkan silase rumput Pakchong sebagai solusi terhadap kelangkaan pakan hijauan selama musim kemarau. Pengujian kualitas silase yang relatif mahal dan kompleks mendorong tim pengabdian merancang sistem pemantauan proses fermentasi dan kualitas silase, yang dilengkapi dengan tiga jenis sensor: sensor MQ135 untuk mendeteksi konsentrasi gas amonia, sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban, serta sensor pH-4502c untuk memantau tingkat keasaman. Sistem ini juga diintegrasikan dengan teknologi *machine learning* untuk memprediksi kualitas serta durasi fermentasi silase berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian Nomor 430/KPTS/KN.200/M/7/2019. Hasil pemantauan selama 40 hari menunjukkan bahwa kadar air meningkat selama proses fermentasi, namun masih dalam batas yang dapat diterima, tanpa adanya pembusukan akibat jamur. Selain itu, kandungan nutrisi silase mengalami peningkatan, sehingga dinyatakan layak untuk dikonsumsi oleh sapi perah. Algoritma *machine learning* yang digunakan menunjukkan bahwa parameter masukan seperti kadar air, tingkat keasaman, suhu, dan kelembaban udara memiliki korelasi yang kuat dengan parameter keluaran berupa kalsium, fosfor, protein, peptin, dan lemak, namun parameter kadar gas amonia tidak menunjukkan korelasi signifikan terhadap hasil tersebut.

Kata Kunci:

Peternak Sapi perah, Rumput Pakchong, Silase, Sistem *monitoring*, Teknologi

1 | PENDAHULUAN

1.1 | Latar Belakang

Desa Blarang merupakan salah satu desa di Kecamatan Tutur, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur yang hampir setengah penduduknya bekerja sebagai peternak sapi perah. Salah satu masalah yang sering dihadapi mereka adalah kelangkaan pakan hijau pada musim kemarau. Padahal, untuk memperoleh susu sapi yang berkualitas tinggi, satu ekor sapi setidaknya harus mengonsumsi pakan hijau hingga 40 kg atau setara dengan 10% dari total berat sapi^[1]. Sementara itu, biaya yang dikeluarkan untuk memenuhi pakan yang besar ini mencakup hingga 70% dari pengeluaran peternak tiap tahunnya^[2].

Saat ini, para peternak di Desa Blarang mulai menggunakan pakan hijau alternatif, yaitu rumput Pakchong (*Pennisetum purpureum* cv Thailand)^[3]. Namun, produktivitas hasil panen rumput Pakchong sangat tergantung dengan curah hujan. Hasil panen rumput Pakchong di daerah Tutur pada musim penghujan diperkirakan dapat mencapai 25 ton/ha. Jumlah ini tentu akan menurun ketika memasuki musim kemarau. Salah satu metode untuk mengatasi masalah kekurangan pakan Pakchong pada musim kemarau adalah menyimpan hasil panen Pakchong pada musim penghujan yang berlebih di bank pakan dengan metode silase. Silase merupakan teknologi pengawetan pakan untuk menjaga kandungan zat makanan yang hilang pada waktu yang berkepanjangan. Rumput Pakchong difermentasi menjadi silase di ruang tertutup dan kedap udara^[4].

Pengujian kualitas silase sendiri memerlukan biaya yang signifikan karena memerlukan pengujian di laboratorium dengan peralatan mahal. Selain itu, dibutuhkan waktu untuk memperoleh hasil uji, sehingga kualitas silase yang sebenarnya dapat berubah selama rentang waktu yang dibutuhkan untuk pengujian. Hal ini tentu menciptakan ketidakpastian kualitas. Oleh karena itu, tim pengabdian akan merancang sistem *monitoring* proses fermentasi dan kualitas silase dari rumput Pakchong pada bank pakan peternakan sapi perah. Sistem *monitoring* ini dilakukan secara terselubung dan tidak mengganggu proses fermentasi, sehingga pemanfaatan pakan silase dapat dilakukan. Kualitas pakan akan diprediksi oleh *machine learning* yang mengkorelasikan beberapa parameter *input* hasil *monitoring*, yaitu temperatur, *relative humidity*, kandungan amonia, pH, dan kadar air. Hasil prediksi ini digunakan untuk menentukan durasi fermentasi silase. Jika kualitas silase yang difermentasi mendekati standar, maka silase akan segera digunakan untuk pakan ternak.

1.2 | Solusi Permasalahan atau Strategi Kegiatan

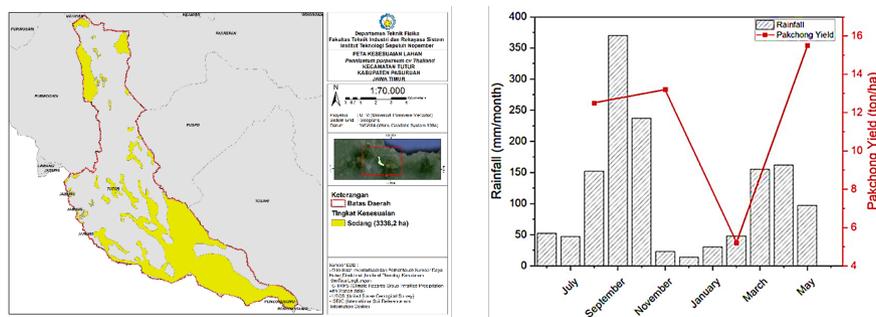
Peternakan sapi perah merupakan salah satu sektor penting dalam mendukung perekonomian pedesaan serta pemenuhan kebutuhan pangan nasional, khususnya dalam penyediaan susu murni. Namun, keberhasilan dan kemandirian peternak dalam sektor ini sangat dipengaruhi oleh ketersediaan pakan berkualitas yang stabil sepanjang tahun. Tantangan utama yang dihadapi oleh peternak sapi perah, khususnya di daerah yang mengalami musim kemarau, adalah terbatasnya akses terhadap pakan hijauan, yang berdampak langsung pada produktivitas susu serta kesejahteraan ternak. Kelompok masyarakat mitra, yang terdiri dari peternak sapi perah dan produsen susu murni, saat ini tengah berupaya untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan mencoba berbagai alternatif pakan, termasuk kultivasi rumput Pakchong dan produksi silase. Rumput Pakchong memiliki potensi hasil yang tinggi sebagai pakan hijauan dengan produksi yang dapat mencapai 438-500 ton/ha/tahun. Namun, teknik kultivasi yang digunakan oleh mitra belum didukung oleh kajian mendalam terkait faktor-faktor agronomis yang mempengaruhi kualitas dan kuantitas pakan serta dampaknya terhadap produksi susu. Selain itu, pembuatan silase sebagai alternatif pakan juga menghadapi berbagai kendala, seperti keterbatasan teknologi dan kurangnya pengendalian mutu dalam proses fermentasi, yang berdampak pada efisiensi produksi dan ketahanan pakan.

Di sisi lain, keberhasilan inisiatif-inisiatif ini juga tergantung pada manajemen yang efektif di tingkat kelompok masyarakat. Mitra masih menghadapi tantangan dalam hal manajemen administrasi kelompok, termasuk kurangnya sistem organisasi yang jelas, arahan kerja untuk anggota, serta transparansi keuangan. Selain itu, manajemen bank pakan yang belum tersusun dengan baik juga menjadi masalah yang signifikan, mengingat pentingnya sistem ini dalam memastikan ketersediaan pakan bagi semua anggota secara adil dan efisien. Melihat berbagai permasalahan di atas, diperlukan suatu program pengabdian masyarakat yang berfokus pada peningkatan kapasitas kelompok masyarakat mitra dalam aspek produksi pakan dan manajemen. Program ini tidak hanya bertujuan untuk mengatasi kendala teknis dalam produksi pakan sapi, tetapi juga untuk memperkuat sistem manajemen kelompok agar dapat berfungsi secara optimal. Dengan adanya dukungan melalui kajian ilmiah, pelatihan teknis, dan pengembangan manajemen, diharapkan mitra dapat mencapai kemandirian dalam pemenuhan kebutuhan pakan sapi, yang pada akhirnya akan meningkatkan kesejahteraan peternak dan kualitas produksi susu murni, sehingga terbentuk peternakan sapi perah yang modern dan berkelanjutan.

Untuk mengatasi permasalahan produksi pakan sapi, khususnya dalam pembuatan silase yang efisien dan berkualitas, solusi yang diusulkan adalah penerapan Teknologi Tepat Guna (TTG) berupa reaktor fermentasi silase yang dilengkapi dengan sistem *monitoring*. Sistem ini akan menggunakan sensor pH, suhu, amonia, dan kelembaban yang terhubung dengan panel surya sebagai sumber listrik, sehingga memastikan proses fermentasi berlangsung optimal dalam kondisi yang terkendali. Target luaran dari solusi ini adalah instalasi reaktor fermentasi silase dengan sistem *monitoring* yang canggih di bank pakan milik kelompok masyarakat. Dengan penerapan teknologi ini, diharapkan kelompok masyarakat dapat memproduksi silase secara efektif dan efisien sepanjang tahun, tanpa tergantung pada ketersediaan listrik konvensional. Sebagai indikator capaian, akan dipasang 50 reaktor fermentasi yang dilengkapi dengan kontroler Arduino UNO R3, sensor pH-4502c untuk memantau kadar pH, sensor MQ137 untuk mengukur kadar amonia, dan sensor DHT22 untuk memantau suhu dan kelembaban. Semua sensor ini akan terhubung dengan satu komputer yang mengelola data, serta panel surya sebagai sumber energi. Dengan sistem ini, kelompok masyarakat dapat memantau dan mengontrol kondisi fermentasi secara *real-time*, memastikan silase yang dihasilkan berkualitas tinggi dan stabil.

Daerah Tuter, Pasuruan, Jawa Timur merupakan sebuah desa yang hampir setengah mata pencahariannya berfokus pada sektor peternakan sapi. Berdasarkan penelitian terdahulu, untuk memperoleh susu sapi yang berkualitas, satu ekor sapi setidaknya harus mengonsumsi pakan hijau hingga 40 kg atau setara dengan 10% dari total berat sapi^[1]. Pemenuhan pakan yang besar ini mencakup hingga 70% dari pengeluaran peternakan tiap tahunnya. Pakan sapi sendiri terdiri atas 58,46% rumput, 20,18% Pakchong, 17,1% *rice straw*, 1,06% *broadleaf*, dan 3,17% gamal^[2].

Salah satu pakan alternatif yang dipilih peternak dalam pemenuhan pakan hijau adalah dengan rumput Pakchong (*Pennisetum purpureum* cv Thailand) yang tumbuh subur di musim penghujan. Hasil panen rumput Pakchong dapat mencapai 300 ton/ha/tahun^[5]. Namun, ketika musim kemarau tiba, krisis pangan ternak terjadi akibat rumput Pakchong tidak tumbuh produktif menyebabkan pakan harus dipenuhi dengan alternatif lain yang tidak jarang menambah biaya pengeluaran. Berdasarkan penelitian oleh^[3], Pakchong tumbuh dengan *yield* yang besar ketika musim penghujan hingga 16 ton/ha/bulan. Namun, ketika musim kemarau produktivitas Pakchong dapat turun hingga 5 ton/ha/bulan. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa adanya keterhubungan antara curah hujan terhadap produktivitas Pakchong.



Gambar 1 Peta kesesuaian lahan tanaman Pakchong di Desa Tuter (kiri) dan produktivitas pertumbuhan Pakchong sepanjang tahun (kanan).

Menilai curah hujan yang tinggi di daerah Tuter (467.36 mm/bulan pada musim hujan) dan data kesesuaian lahan yang sesuai untuk pertumbuhan pak chong diperoleh dari penelitian milik Ernawati et al. (2023)^[6], penghasilan rumput Pakchong dapat diperkirakan tumbuh pada musim penghujan hingga 25 ton/ha. Data tersebut diperoleh dari analisis regresi linear antara hubungan curah hujan dengan produktivitas yang dilakukan oleh Rengsirikul et al. (2013)^[3]. Apabila ditelusuri lebih lanjut seperti yang ditunjukkan pada peta Gambar (1), lahan kosong di daerah Tuter yang memiliki karakteristik tanah sesuai untuk pertumbuhan Pakchong cukup melimpah. Oleh sebab itu, perkebunan Pakchong merupakan sebuah potensi besar terhadap pemenuhan kebutuhan pakan ternak untuk mengatasi masalah krisis pakan pada musim kemarau.

1.3 | Target Luaran

Berdasarkan strategi serta tujuan dan manfaat kegiatan, berikut adalah luaran yang menjadi target dari kegiatan pengabdian masyarakat ini:

- Sistem *monitoring* proses fermentasi dan kualitas silase dari rumput Pakchong.
- Peningkatan kuantitas dan kualitas produksi susu sapi perah pada mitra kelompok masyarakat peternak sapi perah melalui konsumsi silase.

2 | TINJAUAN PUSTAKA

2.1 | Rumput Pakchong dan Silase

Hijauan pakan merupakan pakan utama bagi ternak ruminansia, yang sejatinya adalah ternak herbivora atau pemakan tumbuhan. Abdillah dkk.^[7] menyatakan bahwa kebutuhan hijauan pakan sebagai pakan tunggal pada ruminansia berkisar antara 10-15% dari berat badan. Dalam konteks ini, salah satu rumput yang digunakan sebagai pakan bagi peternakan ruminansia adalah rumput gajah Pakchong, yang dikenal sebagai *Pennisetum purpureum* cv. Thailand. *Pennisetum purpureum* cv Thailand merupakan hasil persilangan antara rumput Gajah (*Pennisetum purpureum* Schumach) dengan Pearl millet (*Pennisetum glaucum*)^[8]. Rumput Pakchong ini telah banyak digunakan sebagai pakan ternak di peternakan sapi untuk program penggemukan dan pembibitan. Rumput Pakchong memiliki potensi besar untuk dikembangkan karena kualitasnya yang baik, palatabilitas yang tinggi, dan toleransi kekeringan yang baik, menjadikannya pilihan pakan ternak yang sangat baik^[9]. Adapun kandungan zat gizi yang terkandung dalam rumput Pakchong pada umur panen 45 adalah sebagai berikut.

Tabel 1 Kandungan Gizi dalam Rumput Pakchong

Komponen	Persentase (%)
Bahan kering	14,9
Protein kasar	10-12
Neutral Detergent Fiber	35,8
Abu	14,5
Karbohidrat larut	36,5

Salah satu keunggulan rumput Pakchong adalah masa panennya yang singkat. Rumput Pakchong sudah dapat dipanen pada umur < 60 hari. Ketinggian rumput Pakchong pada periode ini telah mencapai 3 m. Keunggulan lain dari rumput Pakchong adalah sifat morfologinya. Rumput Pakchong tidak memiliki bulu-bulu halus pada batang batang maupun daun sehingga lebih disukai oleh hewan ternak. Silase pakan ternak merupakan suatu teknologi pengolahan pakan ternak yang melibatkan penguraian senyawa organik, yang diubah menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan mikroorganisme. Tujuannya adalah untuk menghasilkan produk yang ditumbuhi mikroorganisme pengkontaminasi. Melalui proses fermentasi anaerobik, menghasilkan pakan yang lebih tahan lama dengan aroma khas dan kandungan karbohidrat, protein, dan vitamin yang relatif stabil. Memberi makan secara teratur dalam jumlah yang seimbang antara berat makanan dan berat hewan akan memastikan bahwa hewan tersebut dirawat dengan baik^[10]. Adapun metode yang digunakan adalah pengasaman.

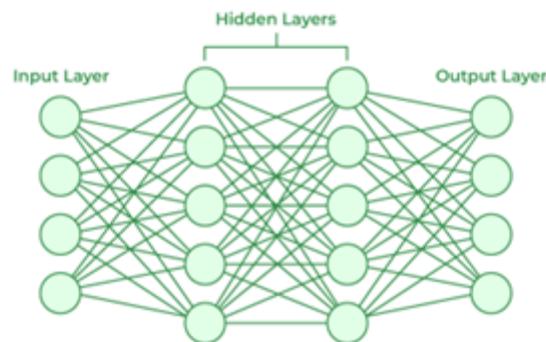
Prinsip pembuatan silase merupakan fermentasi hijauan oleh mikroba yang banyak menciptakan asam laktat dalam kondisi anaerob^[11]. Silase merupakan pakan ternak yang diawetkan dan diperoleh melalui fermentasi anaerobik serta dapat disimpan dalam jangka waktu lama untuk memenuhi kebutuhan nutrisi ternak pada musim kemarau. Silase dikenal sejak zaman dahulu dan dikembangkan di negara-negara yang beriklim tropis. Ciri-ciri silase yang baik adalah warna hijau kecoklatan, aroma asam, konsistensi tidak encer, tidak mengental, tidak terlihat jamur, dan pH 3,8 hingga 4,2^[12].

2.2 | Sensor

Sensor merupakan perangkat yang digunakan untuk mengonversi besaran fisik menjadi besaran listrik yang dapat diproses pada sistem digital (Iwan Setiawan). Sensor pH sendiri mengonversi reaksi kimia yang terdeteksi menjadi besaran tegangan. Sensor pH4502C mampu mendeteksi pH di rentang 0-14 pada temperatur 10-50°C. *Output* dari sensor ini berupa tegangan dengan nilai maksimal 5 V^[13]. Kandungan gas amonia (NH₃) selama proses fermentasi berlangsung akan diukur menggunakan sensor MQ-137. Sensor ini merupakan jenis sensor elektrokimia yang mengukur kandungan gas amonia berdasarkan resistansi. Ketika heater di ujung sensor terpapar gas amonia, maka nilai resistansi akan berubah^[14]. Adapun temperatur dan *relative humidity* akan diukur menggunakan sensor DHT22. Sensor ini bekerja pada tegangan rendah (3,3-6 VDC). Sensor ini mampu mengukur *relative humidity* pada rentang 0-100% dengan akurasi ±2% dan temperatur pada rentang -40–80°C dengan akurasi ±0,5°C^[15].

2.3 | Machine Learning

Machine learning memodelkan *input* parameter dengan data yang dikumpulkan dari beberapa literatur. Beragam komposisi divariasikan untuk memperoleh parameter kualitas berbeda sebagai model korelasi dalam model konversi dapat ditemukan. Parameter *input* yang diperoleh oleh pengukuran masing-masing sensor akan dikorelasikan pada model *machine learning* untuk memprediksi kualitas silase. Model prediksi kualitas dikorelasikan dengan semua parameter yang tercantum dalam Keputusan Menteri Pertanian Nomor 430/Kpts/KN.200/M/7/2019 tentang Penetapan Persyaratan Teknis Minimal Mutu dan Keamanan Pakan dan/atau Bahan Pakan, meliputi kadar abu, protein, kadar lemak, kalsium, serat, fosfor, dan pepsin^[16].



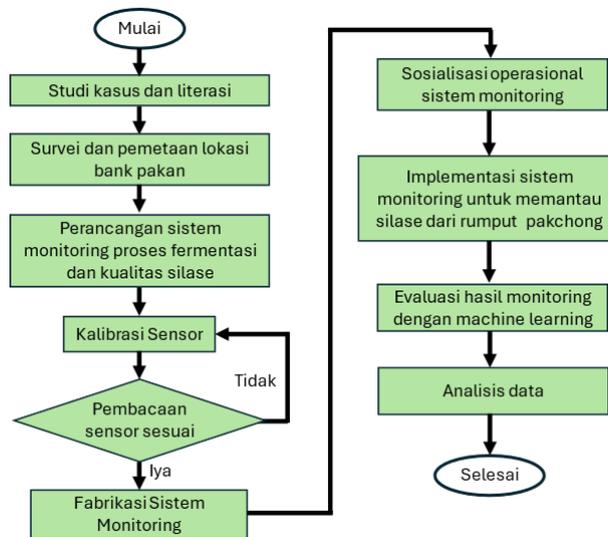
Gambar 2 Arsitektur ANN *machine learning* model.

Proses kuantifikasi prediksi *machine learning* dilakukan dengan model *Artificial Neural Network* (ANN) dengan skema *multiple input multiple output*. ANN adalah sistem matematis kompleks untuk membentuk struktur jaringan terhubung. Input pada model *machine learning* ini bervariasi berdasarkan kekuatan setiap "neuron" dan kemudian digabungkan menjadi input bagi "neuron" lainnya. *Output* dari model ini dipengaruhi oleh bobot yang ditetapkan pada koneksi antar setiap neuron. ANN memiliki tiga lapisan pemrosesan, yaitu *input* (l), *hidden layer* (m), dan *output* (n). *Hidden layer* menghitung bobot dari semua *input*, lalu diproses melalui fungsi *transfer non-linear*, $f(\text{net})$, untuk menghasilkan *output machine learning*^[17].

3 | METODE KEGIATAN

Alur kegiatan secara ringkas dirangkum pada Gambar (3). Kegiatan dimulai dengan dilakukan studi dan literasi terkait peningkatan jumlah ternak sapi perah yang akan berdampak pada peningkatan secara signifikan kebutuhan pakan ternak beserta perawatannya. Maka dari itu, dilakukan survei secara luring yang berlokasi di Dusun Banyusari, Desa Blarang, Kecamatan Tutur, Kabupaten Pasuruan, untuk mengetahui ketersediaan bahan di tempat yang bersangkutan. Adapun didapati rumput Pakchong-1 (*Pennisetum purpureum* cv. Thailand) menjadi sumber pakan hijau di peternakan sapi kelompok masyarakat Rumput Millennial. Agar dapat dilakukan optimalisasi fermentasi silase dari rumput Pakchong, maka dilakukan perancangan sistem *monitoring*. Sebelum dilakukan fabrikasi, dilakukan kalibrasi sensor untuk sistem *monitoring* yang terdiri atas sensor temperatur, kelembaban, ammonia (NH₃), dan pH. Hasil kalibrasi sensor yang telah sesuai dilakukan pemasangan ke reaktor sebagai wadah fermentasi, dilengkapi dengan pembuatan wadah sensor untuk melindungi rangkaian sensor dari korosi akibat air dan mineral

di sekitar. Adapun tutup dari raktor diberi lubang yang kemudian tersambung ke selang gas untuk mengeluarkan udara di dalam genraktor menggunakan pompa vakum yang berfungsi dalam pengondisian fermentasi menjadi aerob.



Gambar 3 Diagram alir kegiatan implementasi sistem *monitoring* proses fermentasi dan kualitas silase dari rumput Pakchong pada bank pakan peternakan sapi perah.

Hasil fabrikasi disampaikan dalam bentuk sosialisasi kepada masyarakat terkait tata cara operasional sistem *monitoring* beserta pencatatan data yang tampil di LCD melalui *Google spreadsheet*. Implementasi sistem *monitoring* dilakukan untuk rumput Pakchong dengan usia tumbuh 40 hari untuk memantau kualitas silase hasil fermentasi selama kurang lebih 40 hari dimulai dari tanggal 16 Juli hingga 24 Agustus 2024.

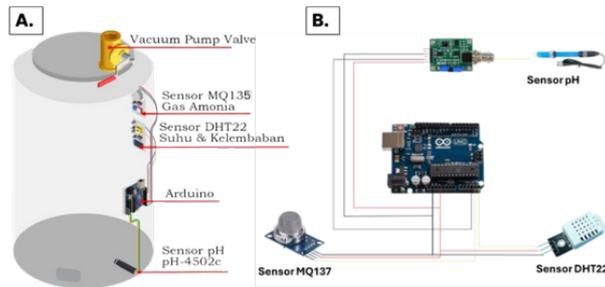
Adapun hasil *monitoring* produk silase dilakukan evaluasi menggunakan metode *convolutional neural network*, untuk menilai kandungan nutrisi silase. Hasil evaluasi dilakukan analisis untuk mengetahui bahwa produk silase yang menjadi pakan sapi, memiliki potensi untuk meningkatkan kualitas susu yang dihasilkan beserta didapatkan hasil optimalisasi untuk rumput Pakchong terbaik.

4 | HASIL DAN DISKUSI

4.1 | Perancangan dan Fabrikasi Sistem *Monitoring* Silase

Sistem *monitoring* menggunakan raktor dengan kapasitas 120 liter yang mana diintegrasikan dengan sensor temperatur, kelembaban, ammonia (NH_3), dan pH. Pada tutup raktor, disambungkan dengan selang dan *valve* yang terhubung dengan *vacuum pump* untuk menghilangkan udara dalam raktor. Hal ini dilakukan agar kondisi di dalam raktor anaerob. Adapun sensor dan modul yang digunakan berturut-turut DHT22, MQ137, dan pH4502c yang mana menggunakan probe pH tanah. Rancangan susunan sensor dengan raktor terlihat pada Gambar (4)a. Adapun mikrokontroler yang digunakan sebagai pembacaan data adalah Arduino Uno dengan susunan rangkaian seperti pada Gambar (4)b.

Perancangan sistem *monitoring* dilakukan fabrikasi selama 3 hari, yang mana dilakukan pelubangan pada tangki sebagai jalur untuk selang gas, maupun untuk susunan kabel untuk sensor. Titik dilakukan pelubangan harus dipastikan bahwa tidak terdapat celah maupun kebocoran agar raktor dalam keadaan vakum. Maka dari itu, diberi lem bercampur kapas, yang disumbat dengan plastisin agar tidak terjadi kebocoran udara. Adapun pada tutup raktor, diberi selang yang terhubung dengan katup atau *valve*, yang berperan sebagai penghubung pompa vakum dengan raktor. Ketika hendak mengeluarkan udara, maka *valve* dikondisikan dalam keadaan terbuka. Sebaliknya, bila udara sudah dirasa cukup vakum di dalam raktor, maka *valve* harus dalam keadaan tertutup agar udara dari luar tidak masuk kembali dalam raktor. Untuk memastikan bahwa raktor tertutup rapat dari udara luar,



Gambar 4 Perancangan sistem *monitoring* silase: (a) susunan pemasangan sensor dan raktor wadah fermentasi rumput Pak-chong; (b) rangkaian sensor dan mikrokontroler untuk sistem *monitoring*.



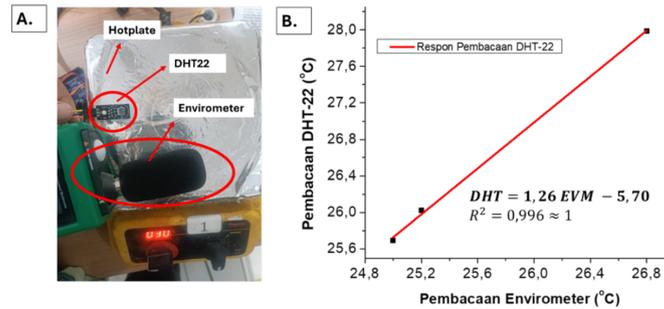
Gambar 5 Hasil fabrikasi sistem *monitoring* silase: (a) tampak luar; (b) tampak dalam.

maka diberi klem pengunci antara mulut raktor dengan tutup sebelum dilakukan vakum menggunakan pompa. Seperti yang terlihat pada Gambar (5)a, modul pH, mikrokontroler arduino, beserta LCD diletakkan di luar (melekat pada dinding reaktor), dengan diberi wadah yang didesain dan dicetak 3D print menggunakan material *polylactide* (PLA). Hal ini dilakukan agar mikrokontroler beserta modul pH tidak sampai *trip* oleh debu yang menyebabkan *short*, atau terkena korosi akibat kelembababan udara lingkungan sekitar.

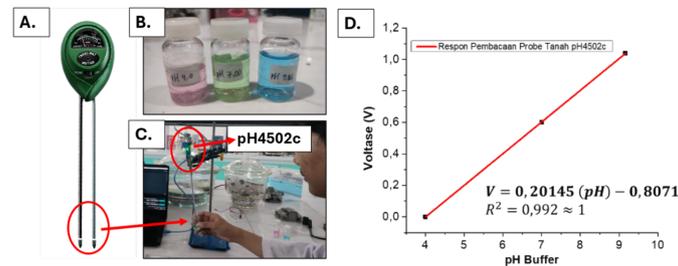
Adapun, bila sistem *monitoring* ditinjau dari dalam (Gambar (5)b), maka dapat terlihat bahwa raktor tidak boleh terisi penuh hingga menyentuh tutup. Hal ini dilakukan agar ketika dilakukan vakum pada raktor, isi silase tidak terbawa ke pompa, yang menyebabkan pompa vakum rusak. Selain itu, sensor juga terjaga tidak kemasukan air dari hasil fermentasi silase. Maka dari itu, diberikan garis putih melingkar sebagai batas pengisian rumput Pakchong dalam raktor. Adapun di dalam raktor, terdapat tiga sensor yang diberi wadah yang terdiri atas MQ-135 untuk mendeteksi ammonia (NH_3) dalam satuan ppm, probe pH tanah untuk mengukur pH, serta modul sensor DHT-22 untuk mengukur temperatur dan kelembaban di dalam raktor. Adapun untuk MQ-135 dan DHT22 diberi wadah yang menempel ke dinding bagian dalam raktor, untuk melindungi rangkaiannya dari korosi. Adapun di bagian yang tidak menempel dinding diberi lubang agar gas NH_3 lebih mudah masuk dan temperatur beserta kelembaban dapat lebih mudah dibaca oleh sensor. Pada saat pengisian, masyarakat diberi peringatan untuk berhati-hati saat mengisi agar tidak sampai menggoncang sensornya atau probe pH sampai tertarik oleh silase pada saat dilakukan penekanan.

4.2 | Hasil Kalibrasi Sensor

Kalibrasi dilakukan pada ketiga sensor yang terdiri atas sensor suhu, kelembaban, pH, dan ammonia (NH_3). Adapun modul sensor yang digunakan antara lain DHT-22 (suhu dan kelembaban), pH4502c (pH), dan MQ-135 (NH_3). Untuk sensor DHT-22, dilakukan kalibrasi menggunakan *thermoscientific hotplate* dengan variasi temperatur 30, 40, dan 50°C sebagai sumber panas dan envirometer sebagai kalibrator yang mana menjadi pengukuran standar. Posisi DHT-22 dan envirometer diusahakan pada ketinggian yang sama di atas plat *hotplate* seperti yang terlihat pada Gambar (6) a). Adapun hasil kalibrasi sensor DHT-22 ditunjukkan pada Gambar (6) b), dimana didapatkan respon yang linier antara pembacaan sensor DHT-22 dengan pembacaan envirometer yang mana memiliki nilai R^2 bernilai 0,996 (mendekati 1) dan rata-rata error pembacaan 3,48%.

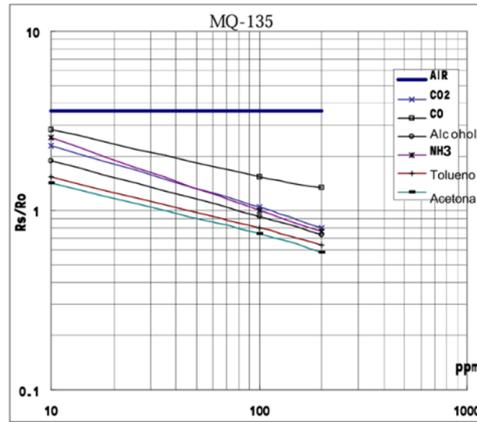


Gambar 6 Hasil kalibrasi sensor temperatur DHT-22: (a) *set-up* kalibrasi; (b) kurva dan persamaan kalibrasi respon sensor.

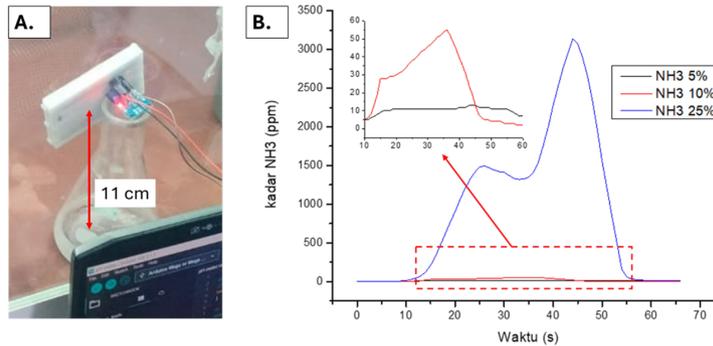


Gambar 7 Hasil kalibrasi sensor pH: (a) probe pH tanah; (b) buffer pH; (c) pencelupan probe pH pada buffer; (d) kurva dan persamaan kalibrasi respon sensor pada modul pH4502c.

Adapun untuk sensor pH, modul pH4502c umumnya digunakan dengan probe pH air. Namun, oleh karena probe pH air tidak kompatibel untuk mengukur pH benda yang bersifat padat, maka digunakan alternatif lain yaitu probe pH tanah dari soilmeter seperti pada Gambar (7) a). Probe kemudian disambungkan ke modul pH4502c yang akan terhubung ke mikrokontroler Arduino UNO untuk dilakukan kalibrasi. Kalibrator yang digunakan untuk kalibrasi sensor pH yaitu menggunakan buffer pH Mettler Toreda dengan pH 4.01, 7.00, 9.21 yang berturut-turut berwarna merah muda, hijau, dan biru seperti pada Gambar (7) b). Ketika probe dicelupkan pada buffer seperti terlihat pada Gambar (7) c), terjadi respon perubahan tegangan yang terbaca pada mikrokontroler Arduino IDE. Normalnya, ketika tidak tercelup dalam buffer, pembacaan tegangan adalah 5 Volt. Namun, ketika tercelup, semakin rendah pH, semakin rendah nilai tegangan yang terbaca (<5 Volt). Adapun rentang pembacaan tegangan adalah 0–5 Volt. Hasil perubahan tegangan terhadap variasi buffer pH yang telah terkalibrasi oleh pH-meter Mettler toredo, dilakukan *plot* seperti pada Gambar (7) d), dimana pembacaannya linier dengan R^2 bernilai 0,992 (mendekati 1) dan rata-rata eror pembacaan 5,25%. Hasil persamaan regresi linier pada Gambar (7) d), dimasukkan dalam pemrograman Arduino untuk konversi tegangan ke pH, yang akan terbaca di LCD untuk *monitoring* silase.



Gambar 8 Kurva kalibrasi MQ-135 Hanwei Electronics Co. Ltd.



Gambar 9 Hasil kalibrasi sensor MQ-135: (a) set-up kalibrasi; (b) uji coba respon sensor MQ-135 pada larutan ammonia (NH₃) dengan variasi konsentrasi 4, 10, 25%.

Untuk kalibrasi sensor NH₃, digunakan kurva kalibrasi yang tertera pada MQ-135 *Gas Sensor Technical Data* dari Hanwei Electronics Co. Ltd. seperti yang terlihat pada Gambar (8). Digunakan *software automeris.io* untuk mendapatkan persamaan fungsi kalibrasi yang ditunjukkan pada persamaan (1).

$$\log \frac{rS}{rO} = -2,53 \log (ppm NH_3) + \log (101,84) \tag{1}$$

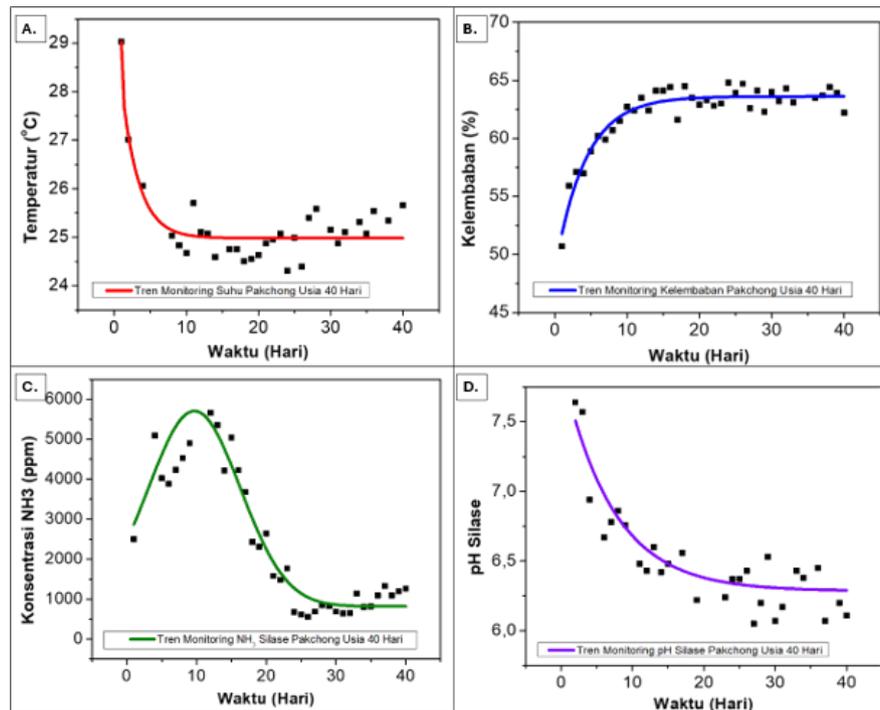
Hubungan antara $\frac{rS}{rO}$ dan konsentrasi NH₃ (ppm) yang terdeteksi menggunakan skala logaritmik (log-log). Adapun perubahan konsentrasi NH₃ mempengaruhi perubahan perbandingan resistansi antara yang terbaca dengan resistansi pada saat kondisi normal (tidak ada ammonia) yang mana dinotasikan sebagai $\frac{rS}{rO}$. Adapun untuk menemukan rO, sensor dibiarkan di udara ruang yang jauh dari ammonia (≈ 1 ppm NH₃), dengan rS dari hasil pembacaan ketika kondisi normal, sehingga didapati untuk seluruh sensor MQ-135, nilai rO adalah 1900Ω.

Kemudian, persamaan dimasukkan ke Arduino IDE, kemudian dilakukan kompilasi ke mikrokontroler. Hasil dari penyesuaian dengan kurva kalibrasi, diuji coba ke larutan ammonia dengan variasi konsentrasi NH₃ berturut-turut 5%, 10%, dan 25% (volume 100 mL). Adapun pengerjaan uji coba terlihat pada Gambar (9) a, di mana larutan diletakkan pada labu erlenmeyer dengan jarak antara sensor di mulut labu dengan larutan sejauh 11 cm. Hasil uji coba menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi NH₃, semakin tinggi pembacaan ppm oleh sensor MQ-135 seperti yang ditunjukkan pada Gambar (9) b. Pembacaan NH₃ dalam satuan ppm disambungkan ke LCD untuk *monitoring* silase.

4.3 | Keberhasilan Sistem *Monitoring* Silase

Hasil dari kalibrasi sensor diuji coba untuk melakukan *monitoring* rumput Pakchong dengan usia pertumbuhan 40 hari yang difermentasi dalam raktor selama 40 hari. Masyarakat diberi sosialisasi untuk menuliskan data yang terdiri atas temperatur, kelembaban, konsentrasi NH_3 , dan pH pada layar LCD di *Google spreadsheet* setiap hari dimulai dari 16 Juli hingga 24 Agustus 2024. Adapun didapatkan hasil untuk temperatur dari silase cenderung mengalami penurunan pada awal hari, tetapi cenderung stabil pada 25°C selama proses fermentasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar (10)a. Berlawanan dengan temperatur, persentase kelembaban udara di dalam raktor semakin meningkat pada awal proses fermentasi dan konstan pada 65% seiring berjalannya waktu seperti pada Gambar (10)b. Hal ini mengindikasikan bahwa kadar air semakin meningkat seiring dengan berjalannya fermentasi oleh mikroorganisme, tetapi tidak sampai lunak bahkan berlendir oleh karena berlebihan air ($> 80\%$). Kondisi silase juga tidak terlalu kering ($< 30\%$), sehingga dapat dikatakan bahwa kadar air pada silase dalam batas normal.

Masyarakat juga mendukung dengan pernyataan bahwa silase tidak berlendir, cukup basah, dan layak dikonsumsi oleh sapi. Selain itu, pada Gambar (10)c, konsentrasi ammonia (NH_3) juga cenderung menurun seiring berjalannya fermentasi hingga 40 hari, yang mana mengindikasikan bahwa silase tidak mengalami pembusukan oleh jamur dan kondisi raktor tervakum dengan baik. Hal ini juga didukung oleh pernyataan masyarakat bahwa bau dari silase tidak menyengat dan cenderung harum seperti bau pandan. Bila dilihat pada Gambar (10)d, pH silase semakin menurun dari 7,5 menjadi 6,0 setelah 40 hari. Hal ini membuktikan bahwa produksi asam laktat terjadi, sehingga meningkatkan kandungan nutrisi di dalam silase.



Gambar 10 Hasil *monitoring* silase rumput Pakchong usia 40 hari: (a) temperatur; (b) kelembaban; (c) NH_3 ; (d) pH.

Dengan hasil sistem *monitoring* yang telah dirancang dan difabrikasi, maka kualitas silase dapat diketahui tanpa membutuhkan alat yang berbiaya tinggi. Selain itu, masyarakat tidak perlu cemas memikirkan apakah kualitas dari pakan dapat meningkatkan kualitas dari susu sapi, atau malah sebaliknya. Masyarakat juga tidak perlu bersusah payah dalam melakukan pencatatan data keamanan pakan dari hasil fermentasi silase, cukup hanya menggunakan *smartphone* secara *online*, sudah dapat *me-monitor* kualitas dari pakan. Adapun untuk pemantauan kandungan nutrisi dari hasil *monitoring* silase digunakan model *machine learning* yang akan dijelaskan lebih lanjut pada sub-bab 4.4.

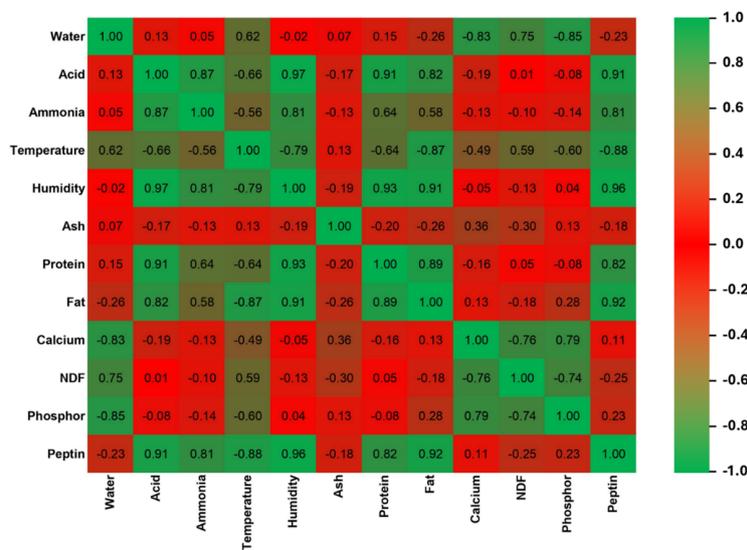
4.4 | Pemodelan machine learning

Model *machine learning* yang digunakan adalah *Multiple Input Multiple Output (MIMO) Artificial Neural Network (ANN)* yang memiliki 2 *hidden layer* dan 64 node. Korelasi antara parameter *input* dan *output* diperoleh dari tinjauan literatur. Jumlah data yang terkumpul sebanyak 129 data penelitian tentang kualitas pakan untuk mengidentifikasi korelasi *input-output*. Sebanyak 91 data digunakan *men-training machine learning* dan sisa 38 data lainnya digunakan untuk memvalidasi hasil *training* data tersebut. Berdasarkan pemodelan *machine learning* yang telah dilakukan maka diperoleh prediksi nilai kualitas berdasarkan *input* dengan nilai error yang diases menggunakan parameter MAE (*Mean Absolute Error*). MAE mengindikasikan ketidakpastian prediksi dengan nilai ambang atas dan bawah sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2 .

Tabel 2 Nilai MAE Hasil *Training* dan Validasi pada *Machine Learning*

Variabel Output	Kadar Abu	Protein	Kandungan Lemak	Kalsium	Serat	Fosfor	Peptin
MAE	4,71	0,29	3,96	0,19	9,84	0,13	8,1
<i>Overall</i> MAE	4,46						

Jika dikorelasikan dengan standar yang ditetapkan pada Keputusan Meteri Pertanian Nomor 430/Kpts/KN.200/M/7/2019 tentang Penetapan Persyaratan Teknis Minimal Mutu dan Keamanan Pakan dan/atau Bahan Pakan, maka nilai MAE untuk protein, kalsium, serat, kadar abu, dan fosfor menunjukkan tingkat ketidakpastian prediktif yang dapat diterima untuk menilai kualitas berdasarkan ambang batas standar. Namun, nilai MAE untuk lemak dan pektin masih memerlukan penyempurnaan lebih lanjut, karena nilai MAE-nya relatif tinggi dibandingkan dengan persyaratan pengukuran yang diatur oleh standar pemerintah. Meskipun tidak semua parameter kualitas silase dapat dipantau secara terus-menerus, nilai *overall* MAE tetap memberikan gambaran yang komprehensif tentang kualitas silase.



Gambar 11 Matriks korelasi variabel dalam pemodelan.

Matriks korelasi di atas menunjukkan bahwa data *input* berupa kadar air, keasaman, kadar ammonia, temperatur dan humiditas memiliki korelasi yang kuat dengan beberapa parameter *output* tapi juga memiliki korelasi yang lemah dengan beberapa *output*. Berdasarkan matriks korelasi ini juga menunjukkan bahwa, diperlukan sebuah variabel input lainnya untuk dapat memprediksi serat dengan lebih terpercaya atau memiliki korelasi yang lebih tinggi. Selain itu ditemukan pula bahwa variabel *input* kadar ammonia tidak memiliki korelasi yang terlalu signifikan terhadap parameter output kecuali pada nilai peptin yaitu 0.81. Kadar

peptin sebelumnya telah ditemukan berkorelasi erat dengan parameter *input* lainnya seperti keasamaan dengan korelasi 0.91 dan humiditas dengan korelasi 0.96. Hal ini menunjukkan bahwa parameter *input* ammonia sebaiknya tidak digunakan karena tidak memiliki korelasi yang cukup signifikan terhadap parameter output kualitas serta nilai korelasi yang telah diwakili oleh parameter *input* lainnya yang lebih erat.

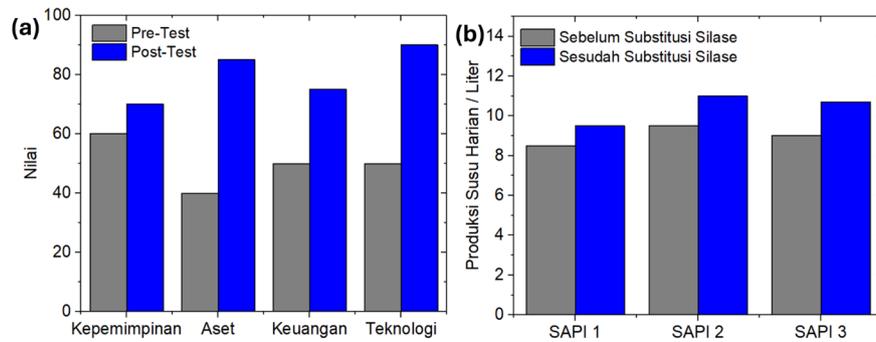
4.5 | Sosialisasi, Implementasi dan Evaluasi Penggunaan Reaktor Fermentasi Silase

Hasil fabrikasi reaktor yang telah dilengkapi sistem *monitoring* telah diimplementasikan di bank pakan ternak kelompok peternak sapi perah di Dusun Banyusari, Desa Blarang, Tutur pada bulan Agustus – September 2024. Implementasi sistem melibatkan mahasiswa kuliah kerja nyata (KKN) yang juga berperan aktif dalam menyelenggarakan pendampingan terkait manajemen kepemimpinan dan SDM, manajemen aset dan keuangan, serta pelatihan penggunaan teknologi reaktor fermentasi sebagai upaya peningkatan kompetensi SDM pengurus kelompok peternak sapi perah seperti didokumentasikan dalam Gambar (12). Pengurus aktif dalam kelompok peternak sapi perah berjumlah 5 orang yang terlibat langsung dengan pendampingan di atas dan bertanggung jawab dalam mengelola aset dan operasional organisasi kelompok peternak sapi perah.



Gambar 12 Dokumentasi (a) kegiatan transfer teknologi reaktor fermentasi kepada pengurus kelompok peternak sapi perah di Desa Blarang, (b) reaktor fermentasi dengan sistem *monitoring* yang terpasang di bank pakan, dan (c,d) kegiatan mahasiswa KKN dalam pendampingan dan pelatihan penggunaan sistem reaktor yang diselenggarakan di salah satu rumah pengurus kelompok peternak sapi perah.

Untuk mengevaluasi transfer ilmu dan teknologi yang telah dilakukan, *pre-test* dan *post-test* diberikan untuk mengukur peningkatan level pengetahuan dasar dan teknis pengurus kelompok peternak sapi perah setelah mengikuti pendampingan sebagaimana dirangkum pada Gambar (13) a. Selain itu, implementasi penggunaan pakan silase yang berhasil diproduksi untuk substitusi parsial sapi perah juga dilakukan dengan tiga (3) sampel sapi pada kandang ternak anggota kelompok peternak sapi perah. Konsumsi pakan harian untuk satu sapi perah terdiri dari 32 kg pakan hijauan dan 8 kg pakan konsentrat. Substitusi silase diberikan untuk mengganti 12 kg pakan hijauan, sehingga komposisi pakan satu sapi perah menjadi 20 kg pakan hijauan, 12 kg silase, dan 8 kg pakan konsentrat. Hasil substitusi sebagian pakan hijauan dengan silase menunjukkan peningkatan produksi susu sapi perah untuk tiga hari pengamatan/perlakuan, yaitu peningkatan kuantitas susu 12 – 17% (Gambar (13) b).



Gambar 13 (a) Hasil peningkatan kompetensi/ pemahaman pengurus kelompok peternak sapi perah terhadap pendampingan manajemen organisasi, aset, dan keuangan serta keterampilan penggunaan teknologi sistem *monitoring*, (b) Peningkatan produktivitas susu sapi perah selama tiga hari pengamatan setelah konsumsi silase.

5 | KESIMPULAN DAN SARAN

Reaktor fermentasi silase dari rumput Pakchong dilengkapi dengan sistem *monitoring* proses menggunakan sensor DHT22 untuk mengukur temperatur dan *relative humidity*, sensor MQ135 untuk mengukur konsentrasi gas amonia (ppm), dan sensor pH4502C untuk mengukur tingkat keasaman telah berhasil difabrikasi dan diberikan kepada mitra kelompok peternak sapi perah di Desa Blarang, Kecamatan Tuter, Kabupaten Pasuruan. Semua sensor yang terpasang telah dikalibrasi sehingga semua parameter yang diukur dapat divalidasi.

Machine learning yang dirancang memanfaatkan parameter input perhitungan sensor yang dikorelasikan terhadap parameter kualitas pakan berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian Nomor 430/KPTS/KN.200/M/7/2019 Tahun 2019 tentang Penetapan Persyaratan Teknis Minimal Mutu dan Keamanan Pakan dan/atau Bahan Pakan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *monitoring* layak untuk digunakan dalam optimasi pasokan bahan pakan ternak sapi. Secara umum, sistem ini mampu memantau dan memprediksi kualitas silase selama proses fermentasi berlangsung selama 40 hari hingga prosuk silase berhasil diujicobakan untuk pakan ternak sapi. Hasil implementasi substitusi pakan hijauan dengan silase dari reaktor yang dihibahkan kepada mitra selama tiga hari berturut-turut telah berhasil meningkatkan produksi susu sapi hingga 17% per ekor sapi.

Meskipun pendampingan dalam rangka transfer teknologi dan transfer ilmu untuk penguatan kompetensi SDM telah dilakukan dalam program pengabdian kepada masyarakat ini, pengawasan dan pendampingan lanjutan perlu dilakukan bersama dengan mitra untuk menjamin realisasi pengembangan peternakan sapi perah yang modern dan berkelanjutan.

6 | UCAPAN TERIMA KASIH

“Pelaksanaan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat ini didukung oleh Pendanaan Program Pengabdian kepada Masyarakat skema Program Kemitraan Masyarakat oleh Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM), Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Riset, dan Teknologi skema Pemberdayaan Kemitraan Masyarakat dengan nomor kontrak 007/E5/PG.02.00/PM.BATCH.2/2024 dan nomor kontrak turunan: 2652/PKS/ITS/2024”

Referensi

1. Rao MD, Reddy BN, Reddy PPR, Reddy GSM. Estimation of land and manpower needs for year-round supply of green fodder (Super Napier) to dairy cattle through time studies and crop cutting experiments. *Journal of Scientific Agriculture* 2024;8:1–6.
2. Sudita I, Sanjaya IP, Mardewi N. Profile of Feeding and Nutrient Fulfillment Bali Cows On Farm Management in Bali at Dry Season. In: *Proceedings of the 1st Warmadewa Research and Development Seminar (WARDS)*, 30 October 2018, Denpasar-Bali, Indonesia; 2019. .

3. Rengsirikul K, Ishii Y, Kangvansaichol K, Sripichitt P, Punsuvon V, Vaithanomsat P, et al. Biomass yield, chemical composition and potential ethanol yields of 8 cultivars of napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) harvested 3-monthly in central Thailand 2013;.
4. Wu P, Li L, Jiang J, Sun Y, Yuan Z, Feng X, et al. Effects of fermentative and non-fermentative additives on silage quality and anaerobic digestion performance of *Pennisetum purpureum*. *Bioresource Technology* 2020;297:122425.
5. Azizah S, Djunaidi IH, Rachmawati A, Titisari EY, et al. Inisiasi Usaha Ternak Sapi Potong Intensif Melalui Kandang Komunal dan Bank Pakan Taman Nasional Baluran. *Wikrama Parahita: Jurnal Pengabdian Masyarakat* 2023;7(1):103–110.
6. ERNAWATI A, ABDULLAH L, PERMANA IG, KARTI PDMH. Morphological responses, biomass production and nutrient of *Pennisetum purpureum* cv. Pakchong under different planting patterns and harvesting ages. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 2023;24(6).
7. Abdillah L, Septian MH, Sihite M. Potensi pemanfaatan mikoriza arbuskula (Am) pada lahan hijauan pakan. *Journal of Livestock Science and Production* 2021;5(2):362–370.
8. Hasan M, Sembiring M. PENGGUNAAN BEBERAPA JENIS PUPUK KOTORAN DOMBA DAN AYAM TERHADAP PERTUMBUHAN RUMPUT PAKCONG (*Pennisetum Purpureum* Cv Thailand). *Jurnal Cakrawala Ilmiah* 2024;3(9):2447–2454.
9. Yammuen-art S, Somrak P, Phatsara C. Corrigendum to: Effect of the ratio of maize cob and husk to napier Pakchong 1 silage on nutritive value and in vitro gas production of rumen fluid of Thai native cattle. *Animal Production Science* 2019;59(3):600–600.
10. Patimah T, Asroh A, Intansari K, Meisani ND, Irawan R, Atabany A. Kualitas silase dengan penambahan molasses dan suplemen organik cair (Soc) di Desa Sukamaju, Kecamatan Cikeusal. *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat (PIM)* 2021;2(Khusus 1):88–92.
11. Naif R, Nahak OR, Dethan AA. Kualitas nutrisi silase rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) yang diberi dedak padi dan jagung giling dengan level berbeda. *Jas* 2016;1(1):6–8.
12. Wati WS, Mashudi M, Irsyammawati A. Kualitas silase rumput odot (*Pennisetum purpureum* cv. Mott) dengan penambahan *Lactobacillus plantarum* dan molasses pada waktu inkubasi yang berbeda. *Jurnal Nutrisi Ternak Tropis* 2018;1(1):45–53.
13. Khan S, Das P, Thaher M, Abdulquadir M, Faisal M, Hawari AH, et al. Application note—A novel, low-cost pH-controlled solenoid-based CO₂ dosing device for microalgal and cyanobacterial cultivation systems. *Smart Agricultural Technology* 2024;7:100373.
14. Yudhana A, Mukhopadhyay S, Prima ODA, Akbar SA, Nuraisyah F, Mufandi I, et al. Multi sensor application-based for measuring the quality of human urine on first-void urine. *Sensing and Bio-Sensing Research* 2021;34:100461.
15. Irwanto F, Hasan U, Lays ES, De La Croix NJ, Mukanyiligira D, Sibomana L, et al. IoT and fuzzy logic integration for improved substrate environment management in mushroom cultivation. *Smart Agricultural Technology* 2024;7:100427.
16. Kementerian Pertanian Indonesia, Keputusan Menteri Pertanian Nomor 430/KPTS/KN.200/M/7/2019 Tahun 2019 tentang Penetapan Persyaratan Teknis Minimal Mutu dan Keamanan Pakan dan/atau Bahan Pakan; 2019. jdih.pertanian.go.id.
17. Uzun H, Yıldız Z, Goldfarb JL, Ceylan S. Improved prediction of higher heating value of biomass using an artificial neural network model based on proximate analysis. *Bioresource Technology* 2017;234:122–130.

Cara mengutip artikel ini: Wahyuono, R.A., Risanti, D.D., Bawika, G.W., Ningrum, A.S., Putra, A.F., Christanto, R., Islam, M.N., Wibowo, W.A.P., Murdianto, S.A., Sihombing, E.R., Bimatara, Z.D., Aptadi, Y.S., Chandra, Y., (2024), Implementasi Sistem *Monitoring* Proses Fermentasi dan Kualitas Silase dari Rumput Pakchong pada Bank Pakan Peternakan Sapi Perah, *Sewagati*, 8(5):2283–2296, <https://doi.org/10.12962/j26139960.v8i5.2315>.