

ANALISIS DAN DESAIN SISTEM PENILAIAN DAUR HIDUP AYAM POTONG BERBASIS *DIGITAL BUSINESS ECOSYSTEM*

ANALYSIS AND DESIGN OF LIFE CYCLE ASSESSMENT SYSTEM OF CHICKEN MEAT BASED ON *DIGITAL BUSINESS ECOSYSTEM*

Silmi Azmi^{1*}, Taufik Djatna, Suprihatin, Nastiti Siswi Indrasti

Departemen Teknik Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Dramaga, Jl. Raya Dramaga, Bogor 16680, Indonesia
E-mail: silmiazmi@apps.ipb.ac.id

Makalah: Diterima 30 Desember 2020; Diperbaiki 13 Juni 2021; Disetujui 30 Juni 2021

ABSTRACT

Chicken meat agroindustry is one of the industries that produce unmeasured and unmonitored environmental impacts. These problems are a challenge for the industry to analyze how to measure and monitor environmental impacts. So, it is necessary to create a system that can measure and monitor environmental impacts through the Life Cycle Assessment (LCA) method. The development of system design based on the Digital Business Ecosystem (DBE) can facilitate interaction between the stakeholders involved. This study aimed to analyse system components, system modeling, and develop an LCA system design of chicken meat. The system design model was built by UML (Unified Modeling Language). The system design was developed using an Artificial Neural Network (ANN) method to predict the impact of greenhouse gas emissions and the Ordinary Least Squares (OLS) method to determine the most significant contributor. The study's results showed that this system produced a model that can predict the impact of greenhouse gas emissions by 96.22 % of the actual value, and feed was the most significant contributor. Recommendations for reducing greenhouse gas emissions were increasing feed efficiency, installing an inverter on an ammonia compressor, using environmentally friendly fuels, and utilizing litter and manure as organic fertilizer accompanied by better manure storage management.

Keywords: artificial neural network, chicken meat, ordinary least square, life cycle assessment system

ABSTRAK

Agroindustri ayam potong merupakan salah satu industri yang menghasilkan dampak lingkungan yang tidak terukur dan tidak terpantau. Permasalahan tersebut menjadi tantangan bagi industri untuk menganalisis bagaimana cara mengukur dan memantau dampak lingkungan. Sehingga, perlu membuat sebuah sistem yang dapat mengukur dan memantau dampak lingkungan melalui metode *Life Cycle Assessment (LCA)*. Pengembangan desain sistem penilaian daur hidup ayam potong berbasis *Digital Business Ecosystem (DBE)* dapat mempermudah interaksi antara *stakeholder* yang terlibat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis komponen sistem, pemodelan sistem, serta mengembangkan desain sistem penilaian daur hidup ayam potong. Model desain sistem dibangun oleh UML (*Unified Modeling Language*). Desain sistem dikembangkan menggunakan metode *Artificial Neural Network (ANN)* untuk memprediksi dampak lingkungan emisi gas rumah kaca dan *Ordinary Least Square (OLS)* untuk menentukan kontributor terbesar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini menghasilkan model yang dapat memprediksi dampak emisi gas rumah kaca sebesar 96,22 % dari nilai aktualnya dan pakan merupakan kontributor terbesar. Rekomendasi perbaikan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca adalah peningkatan efisiensi pakan, pemasangan inverter pada kompresor amonia, penggunaan bahan bakar ramah lingkungan, pemanfaatan limbah *litter* dan *manure* sebagai pupuk organik yang disertai dengan manajemen penyimpanan *manure* yang lebih baik.

Kata kunci: ayam potong, artificial neural network, ordinary least square, sistem penilaian daur hidup

PENDAHULUAN

Agroindustri ayam ras pedaging di Indonesia berkembang dengan sangat pesat. Tingginya konsumsi daging ayam di Indonesia diiringi dengan peningkatan produksi ayam ras pedaging. Produksi ayam ras pedaging pada tahun 2019 mencapai 3,49 juta ton, meningkat 2,64 % dibandingkan tahun sebelumnya (BPS, 2019). Proses budidaya ayam ras pedaging, transportasi serta produksi ayam potong memerlukan *input* berupa sumber daya selama pelaksanaan tahapan proses tersebut. Penggunaan

sumber daya tersebut akan menghasilkan limbah serta emisi yang berpotensi menghasilkan dampak terhadap lingkungan.

Agroindustri ayam ras pedaging merupakan salah satu industri yang berkontribusi terhadap kerusakan lingkungan, diantaranya emisi gas rumah kaca (Suffian *et al.*, 2018). Lima *et al.* (2019) menyatakan bahwa proses produksi ayam ras pedaging di peternakan menyumbang emisi gas rumah kaca karena manajemen *manure* sebagai kontributor terbesar dalam menghasilkan emisi gas metana (CH₄) dan dinitrogen oksida (N₂O).

*Penulis Korespondensi

Sedangkan menurut Skunca *et al.* (2018), konsumsi pakan dan *litter* di peternakan ayam serta penggunaan energi di pabrik pengolahan daging ayam berkontribusi tinggi dalam menghasilkan emisi gas rumah kaca. Kegiatan produksi di rumah pemotongan ayam (RPA) juga menghasilkan limbah baik limbah cair, padat maupun gas yang juga berkontribusi terhadap kerusakan lingkungan. Aziz *et al.* (2018) menyatakan bahwa limbah cair rumah pemotongan ayam memiliki konsentrasi bahan organik yang tinggi seperti kadar BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solid*), minyak lemak, nitrogen dan fosfor. Bahan organik sebagai pencemar utama ini berasal dari darah, lemak, protein terlarut dan material padatan. Pembuangan air limbah dengan kandungan nutrisi yang tinggi ke perairan dapat mencemari air, mengancam ekosistem akuatik serta menimbulkan eutrofikasi. Pencemaran kualitas air juga dapat menyebabkan terjadinya penurunan kualitas kesehatan masyarakat sekitar. Selain itu, limbah padat bulu ayam dapat menimbulkan kerusakan lingkungan jika tidak ditangani dengan benar. Limbah bulu ayam yang berserakan dapat menjadi sumber penyebaran penyakit dan menimbulkan bau tidak sedap (Anbu *et al.*, 2004). Limbah bulu ayam juga dapat mengakibatkan penurunan kualitas tanah karena sangat sulit untuk terdegradasi. Hal ini dikarenakan sebagian proteinnya berupa keratin sehingga resisten terhadap degradasi (Joshi *et al.*, 2007).

Dampak lingkungan yang dihasilkan di sepanjang siklus hidup ayam potong tidak terukur dan tidak terpantau. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan sebuah sistem yang dapat mengukur dan memantau dampak lingkungan melalui pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA). Berdasarkan SNI ISO 14040:2016, *Life Cycle Assessment* (LCA) adalah salah satu metode pengelolaan lingkungan dalam menganalisis dan mengukur dampak lingkungan di sepanjang daur hidup produk yang dimulai dari tahap pengambilan material, produksi, distribusi, penggunaan produk hingga pembuangan akhir (BSN, 2016). Penelitian tentang evaluasi dampak lingkungan dengan pendekatan LCA di agroindustri ayam ras pedaging sudah banyak dilakukan, baik di sepanjang kegiatan budidaya, transportasi dan produksi ayam potong (Leinonen *et al.*, 2012; González-García *et al.*, 2014; Kalhor *et al.*, 2016; Cesari *et al.*, 2017; Wiedemann *et al.*, 2017; López-Andrés *et al.*, 2018) maupun disertai proses distribusi, penggunaan oleh konsumen hingga pembuangan akhir (Skunca *et al.*, 2018). Bahkan penelitian tentang pengukuran kinerja rantai pasok dan nilai tambah hijau dengan mempertimbangkan aspek lingkungan melalui metode LCA pada agroindustri ayam ras pedaging telah dilakukan oleh Nurhayati *et al.* (2016). Akan tetapi, penelitian tentang mendesain sistem yang

dapat mengevaluasi dampak lingkungan pada agroindustri ayam ras pedaging masih terbatas.

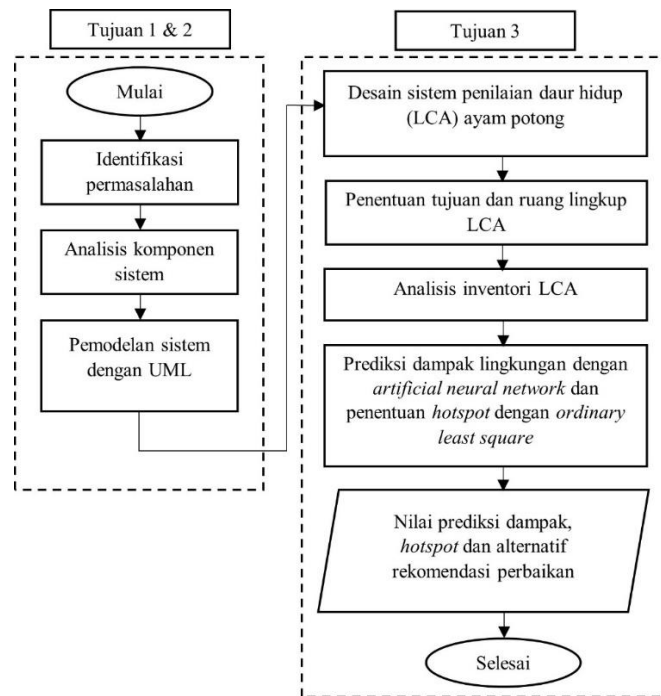
Penilaian daur hidup ayam potong melibatkan beberapa *stakeholder* yaitu manajemen, divisi lingkungan, peternakan ayam, rumah pemotongan ayam dan laboratorium uji. Untuk mempermudah interaksi antara *stakeholder*, maka perlu dikembangkan desain sistem penilaian daur hidup ayam potong berbasis *Digital Business Ecosystem* (DBE) agar dihasilkan sistem yang terintegrasi dan memudahkan dalam mencapai tujuan. Djatna (2020) menyatakan bahwa DBE merupakan sistem interaksi bisnis yang terjadi secara *peer to peer* (P2P) antara aktor-aktor pada ekosistem bisnis yang saling terkait pada lingkungan digital yang dihubungkan menggunakan suatu jaringan infrastruktur digital. Identifikasi komponen sistem dilakukan sebelum mengembangkan desain sistem. Model desain sistem dibangun oleh UML (*Unified Modeling Language*). Metode yang digunakan dalam mengembangkan desain sistem ini adalah *Artificial Neural Network* (ANN) untuk memprediksi dampak lingkungan emisi gas rumah kaca dan *Ordinary Least Square* (OLS) untuk menentukan *hotspot* atau kontributor terbesar terhadap emisi gas rumah kaca. Berdasarkan hasil prediksi dampak lingkungan dan *hotspot* yang telah diketahui, maka dapat ditentukan rekomendasi perbaikan untuk menurunkan dampak lingkungan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis komponen sistem, pemodelan sistem, serta mengembangkan desain sistem penilaian daur hidup ayam potong. Penelitian ini akan menghasilkan sebuah sistem penilaian daur hidup ayam potong yang lebih sederhana, cepat dan dapat terpantau secara *real time* melalui *platform digital*. Penilaian daur hidup ayam potong dapat memberikan manfaat bagi perusahaan dalam pengelolaan lingkungan. Sistem ini dibuat untuk perusahaan yang terintegrasi dari peternakan ayam ras pedaging hingga rumah pemotongan ayam (RPA). Sistem ini dapat memberikan gambaran mengenai dampak lingkungan yang dihasilkan di sepanjang daur hidup produk, yang dalam penelitian ini terbatas pada kegiatan budidaya, transportasi dan produksi ayam potong. Hasil dari prediksi dampak lingkungan serta rekomendasi perbaikan diharapkan bisa menjadi acuan dalam mengurangi dampak lingkungan di perusahaan.

METODE PENELITIAN

Kerangka Penelitian

Metode dalam penelitian ini didasarkan pada masing-masing tujuan yang ingin dicapai, yaitu menganalisis komponen sistem, pemodelan sistem dan mendesain sistem penilaian daur hidup ayam potong. Gambar 1 menunjukkan kerangka penelitian dalam mencapai masing-masing tujuan tersebut.



Gambar 1. Kerangka penelitian

Analisis Komponen Sistem

Analisis komponen sistem dilakukan untuk mengidentifikasi komponen-komponen atau atribut-atribut pembangun sistem yang meliputi *input* serta *output* yang diinginkan dan tidak diinginkan, pemangku kepentingan, peran, sumber daya, kontrol internal, peluang, ancaman, batasan operasional, serta timbal balik dalam bentuk *self interaction*. Atribut-atribut ini perlu diperhatikan ketika akan mendesain serta mengembangkan sistem karena akan berdampak pada kinerja sistem (Djatna, 2020).

Pemodelan Sistem dengan Unified Modeling Language (UML)

Unified Modeling Language (UML) digunakan dalam pemodelan sistem dengan bantuan *software* PowerDesigner versi 16.5.03982. Djatna (2020) menyatakan bahwa UML digunakan untuk menyimpan, menspesifikasikan, serta membangun suatu sistem. Pemodelan sistem penilaian daur hidup ayam potong menggunakan UML berupa *use case* serta BPMN (*Business Process Model Notation*). Menurut Djatna (2020), *use case* mengilustrasikan bagaimana hubungan pengguna dan aktivitas. Sedangkan BPMN merupakan suatu cara untuk merepresentasikan aliran bisnis dengan serangkaian notasi grafis yang menjadi bentuk sederhana atau pemodelan bisnis agar lebih mudah untuk dimengerti.

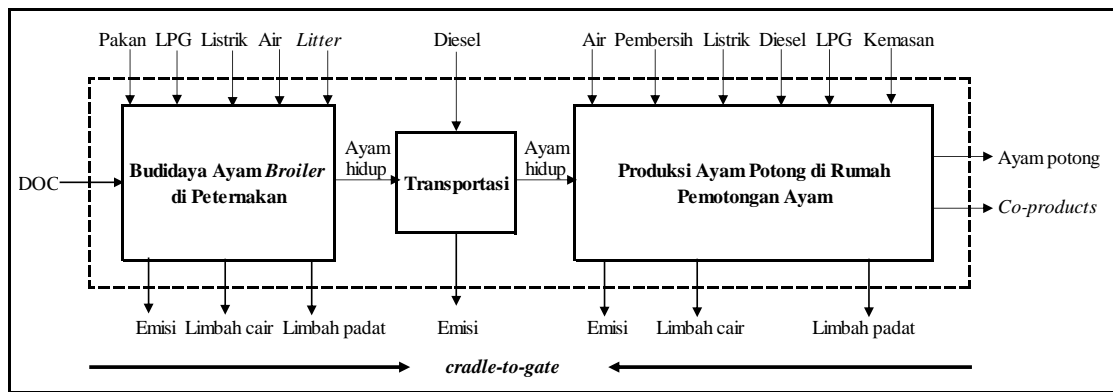
Desain Sistem Penilaian Daur Hidup

Formulasi dalam mendesain sistem ini mengacu pada empat tahapan LCA menurut BSN (2016) dalam SNI ISO 14040:2006, yaitu menentukan tujuan dan ruang lingkup, analisis inventori, analisis dampak lingkungan dengan metode

Artificial Neural Network (ANN) untuk memprediksi dampak lingkungan emisi gas rumah kaca dan interpretasi hasil dengan metode *Ordinary Least Square* (OLS) untuk menentukan *hotspot* serta penentuan alternatif rekomendasi perbaikan dalam penurunan dampak lingkungan. Pengolahan data menggunakan *software* R Studio versi 3.6.2.

Penentuan Tujuan dan Ruang Lingkup

Pada tahap ini ditentukan tujuan dari kajian LCA, batasan sistem serta kategori dampak yang akan dikaji (BSN, 2016). Tujuan dari kajian LCA ayam potong dalam sistem ini adalah untuk mengevaluasi dampak lingkungan ayam potong dalam ruang lingkup *cradle-to-gate*, menentukan *hotspot* dan rekomendasi perbaikan. Batasan sistem LCA ayam potong seperti yang disajikan pada Gambar 2 adalah *cradle-to-gate*, yaitu mulai dari proses budidaya ayam ras pedaging, transportasi, dan proses produksi ayam potong. Kategori dampak lingkungan yang dikaji berupa dampak emisi gas rumah kaca. Emisi yang menyebabkan gas rumah kaca di agroindustri ayam potong adalah karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan dinitrogen oksida (N₂O). Emisi CO₂ berasal dari penggunaan bahan bakar diesel, LPG, listrik, bahan kemasan plastik dan bahan pembersih. Emisi CH₄ berasal dari penggunaan bahan bakar diesel, LPG, limbah cair dan limbah padat. Sedangkan, emisi N₂O berasal dari penggunaan bahan bakar diesel, LPG dan *litter*. Pada analisis dampak terhadap emisi gas rumah kaca, hasil perhitungan emisi CO₂, CH₄, dan N₂O selanjutnya dikonversi menjadi karbon dioksida ekuivalen (CO₂-eq) menggunakan nilai konversi berdasarkan IPCC (2007).



Gambar 2. Batasan sistem penilaian daur hidup ayam potong (*cradle-to-gate*)

Tabel 1. Inventori data agroindustri ayam potong

Inventori Data	Tahapan Kegiatan		
	Budidaya	Transportasi	Produksi
Input	Day old chicks (DOC) Air Pakan Litter Listrik LPG	Diesel	Ayam hidup Air Sodium hydroxide Sodium hypochlorite Listrik Diesel LPG Bahan kemasan
Output	Ayam hidup Limbah cair Limbah padat		Ayam potong Limbah cair Limbah padat

Analisis Inventori

Analisis inventori dilakukan untuk mengidentifikasi aliran *input* (bahan baku, bahan tambahan dan energi) dan *output* (produk, produk samping, limbah dan emisi) sepanjang siklus hidup produk (BSN, 2016). Inventori data dalam sistem ini berupa identifikasi *input* dan *output* pada proses budidaya ayam ras pedaging, transportasi, dan proses produksi ayam potong. Data *input* dan *output* yang dijadikan sebagai acuan data inventori berasal dari data hipotetik yang komponennya mengacu pada penelitian Skunca *et al.* (2018). Inventori data pada tahap kegiatan budidaya, transportasi dan produksi disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan data sekunder yang diperoleh dari penelitian Skunca *et al.* (2018), *input* bahan bakar diesel pada proses transportasi dihitung sebagai *input* pada proses budidaya.

Inventori data tersebut selanjutnya dikelompokkan menjadi tujuh variabel prediktor, yaitu pakan peternakan, energi peternakan, limbah peternakan, energi RPA, limbah RPA, bahan kemasan RPA dan bahan pembersih RPA dengan satu variabel target yaitu emisi CO₂-eq. Data-data tersebut kemudian diproses dengan menggunakan *Microsoft Excel* dengan perintah “*randbetween*” untuk menghasilkan 100 data untuk masing-masing variabel.

Analisis Dampak Lingkungan dengan Artificial Neural Network (ANN)

Russell dan Norvig (2010) menyatakan bahwa *Artificial Neural Network* (ANN) merupakan model komputasi berdasarkan prinsip kerja dari jaringan saraf manusia. ANN dapat digunakan untuk masalah klasifikasi atau prediksi numerik (Han *et al.*, 2012). Dalam sistem ini, metode ANN digunakan untuk memprediksi dampak emisi gas rumah kaca. *Back propagation* merupakan salah satu algoritma ANN yang akan memproses data latih dengan membandingkan hasil prediksi dari jaringan dengan nilai target aktual. ANN *back propagation* meliputi *input layer*, *hidden layer*, serta *output layer*. Setiap lapisan dibentuk oleh sejumlah *node* atau *neuron*. *Node* lapisan atas dan bawah dihubungkan dengan pembobot w_{ij} dan w_j dimana $i = 1, 2, \dots, n$ dan $j = 1, 2, \dots, m$, (n : banyaknya lapisan *neuron input*; m : jumlah lapisan *neuron tersembunyi*) (Siang, 2005). Pada ANN *back propagation* dengan n *neuron input*, m *neuron tersembunyi*, dan satu *neuron output*, *output* dari semua lapisan tersembunyi dihitung dengan formulasi sebagai berikut (Zhang *et al.*, 2013):

$$net_j = \sum w_{ij}x_i \quad (i=0, 1, \dots, n; j=0, 1, \dots, m) \dots \dots \dots (1)$$

$$y_i = f(\text{net}_i) \quad (j=1,2,\dots,m) \dots\dots\dots (2)$$

Pada formula di atas, net_j merupakan nilai aktivasi dari *node* ke- j , ω_{ij} bobot dari *node input* ke- i dan *node* tersembunyi ke- j , x_i *input* ke- i , y_j *output node* ke- j pada *hidden layer*, dan f fungsi aktivasi dari suatu *node* yang biasanya merupakan fungsi *sigmoid* (Zhang *et al.*, 2013).

$$f(x) = \frac{1}{1+\exp(-x)} \dots\dots\dots (3)$$

Output dari seluruh *neuron* diekspresikan dengan:

$$O = f_o(\sum w_j y_j) \quad (j=0,1,\dots,m) \dots\dots\dots (4)$$

Pada formula *output*, f_o merupakan fungsi aktivasi, ω_j pembobot pada hubungan *node* ke- j pada *hidden layer* dengan *node output*, dan y_j *output* dari *node* ke- j pada *hidden layer* (Zhang *et al.*, 2013).

Interpretasi Hasil dengan Ordinary Least Square (OLS)

Metode *Ordinary Least Square (OLS)* digunakan dalam mengestimasi garis regresi melalui pengurangan jumlah kuadrat galat observasi pada garis (Kuncoro, 2014). Dengan menggunakan metode OLS, penduga parameter regresi dapat dihitung. OLS berfungsi untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari *independent variable* (x) pada *dependent variable* (y). Analisis regresi linear berganda dengan metode OLS pada sistem ini bertujuan untuk menentukan kontributor terbesar terhadap emisi gas rumah kaca. Djatna (2020) menyatakan bahwa regresi linear berganda merupakan pemodelan regresi yang berdasarkan lebih dari satu variabel prediktor. Berikut ini merupakan formulasi dari regresi linear berganda:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \dots\dots\dots (5)$$

Pada formulasi tersebut, β adalah *beta coefficient* $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$, \hat{y} adalah target variabel, dan x adalah variabel prediktor x_1, x_2, \dots, x_n (Djatna, 2020).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Komponen Sistem

Sistem penilaian daur hidup ayam potong berbasis DBE adalah elemen yang terintegrasi melalui *input* berupa data produksi, limbah dan emisi yang diproses dalam tahapan proses LCA menurut BSN (2016), yaitu penentuan tujuan dan ruang lingkup, analisis inventori, analisis dampak lingkungan dengan metode ANN untuk memprediksi dampak emisi gas rumah kaca, serta interpretasi hasil dengan metode OLS untuk menentukan *hotspot*, sehingga diperoleh *output* berupa hasil nilai prediksi emisi CO₂-eq yang mendekati nilai aktual serta diketahui *hotspot* yang tepat sebagai dasar perumusan rekomendasi perbaikan. Gambar 3 menunjukkan

komponen pembangun sistem penilaian daur hidup ayam potong.

Konsep DBE pada sistem penilaian daur hidup ayam potong yang mengacu pada Djatna (2020), merupakan sistem interaksi bisnis yang terjadi secara *peer to peer (P2P)* antara aktor-aktor yang terdiri dari manajemen, divisi lingkungan, peternakan ayam, rumah pemotongan ayam dan laboratorium uji, yang saling terikat dan berinteraksi pada lingkungan digital yang dihubungkan menggunakan suatu jaringan *information and communication technology (ICT)* sehingga aktor-aktor pada lingkungan ekosistem tersebut dapat saling berkomunikasi dan bertukar informasi menggunakan infrastruktur digital seperti informasi data produksi, limbah dan emisi, data hasil analisis dampak lingkungan serta rekomendasi perbaikan.

Pemodelan Sistem dengan Unified Modeling Language (UML)

Use Case Diagram

Use case mengilustrasikan interaksi pengguna atau bagaimana hubungan aktor dengan aktivitas (Djatna, 2020). Dalam sistem ini terjadi interaksi antara lima aktor yaitu manajemen, divisi lingkungan, peternakan ayam, rumah pemotongan ayam dan laboratorium uji, dengan lima tahapan proses bisnis seperti pada Gambar 4. Dengan konsep DBE, interaksi antara aktor berlangsung secara digital sehingga lebih cepat, mudah dan terpantau dalam sistem penilaian daur hidup ayam potong.

BPMN 2.0

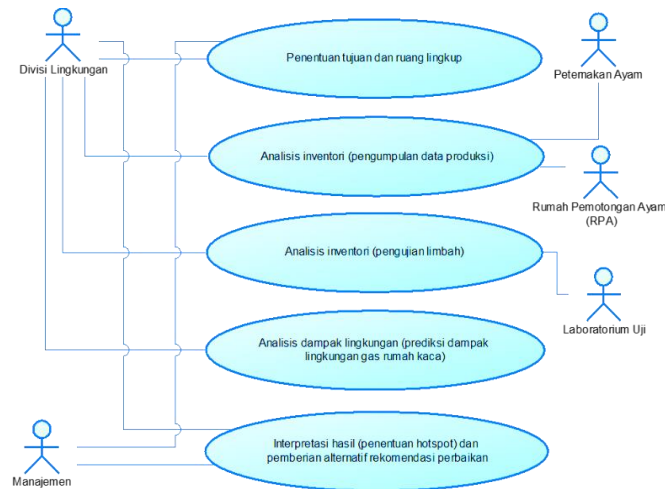
Business Process Model Notation (BPMN)

pada sistem ini menggambarkan interaksi antara *stakeholder* yang terdiri dari manajemen, divisi lingkungan, peternakan ayam, rumah pemotongan ayam dan laboratorium uji, dalam aliran proses yang jelas. Manajemen akan memberikan instruksi kepada divisi lingkungan untuk melakukan penilaian daur hidup. Setelah menerima instruksi, divisi lingkungan akan mulai menentukan tujuan dan ruang lingkup sebagai tahap pertama dari penilaian daur hidup. Untuk melakukan analisis inventori sebagai tahap kedua, peternakan ayam dan rumah pemotongan ayam akan memasukkan data produksi ke dalam sistem atau *database* inventori yang akan diterima oleh divisi lingkungan. Divisi lingkungan selanjutnya akan mengajukan permohonan pengujian limbah ke laboratorium uji. Hasil uji limbah tersebut akan diberikan ke divisi lingkungan sebagai data tambahan untuk menghitung emisi. Hasil analisis inventori akan dijadikan sebagai dasar untuk melakukan analisis dampak lingkungan yang dimulai dengan pemilihan kategori dampak emisi gas rumah kaca, melakukan karakterisasi, klasifikasi dan memprediksi nilai dampak emisi gas rumah kaca.

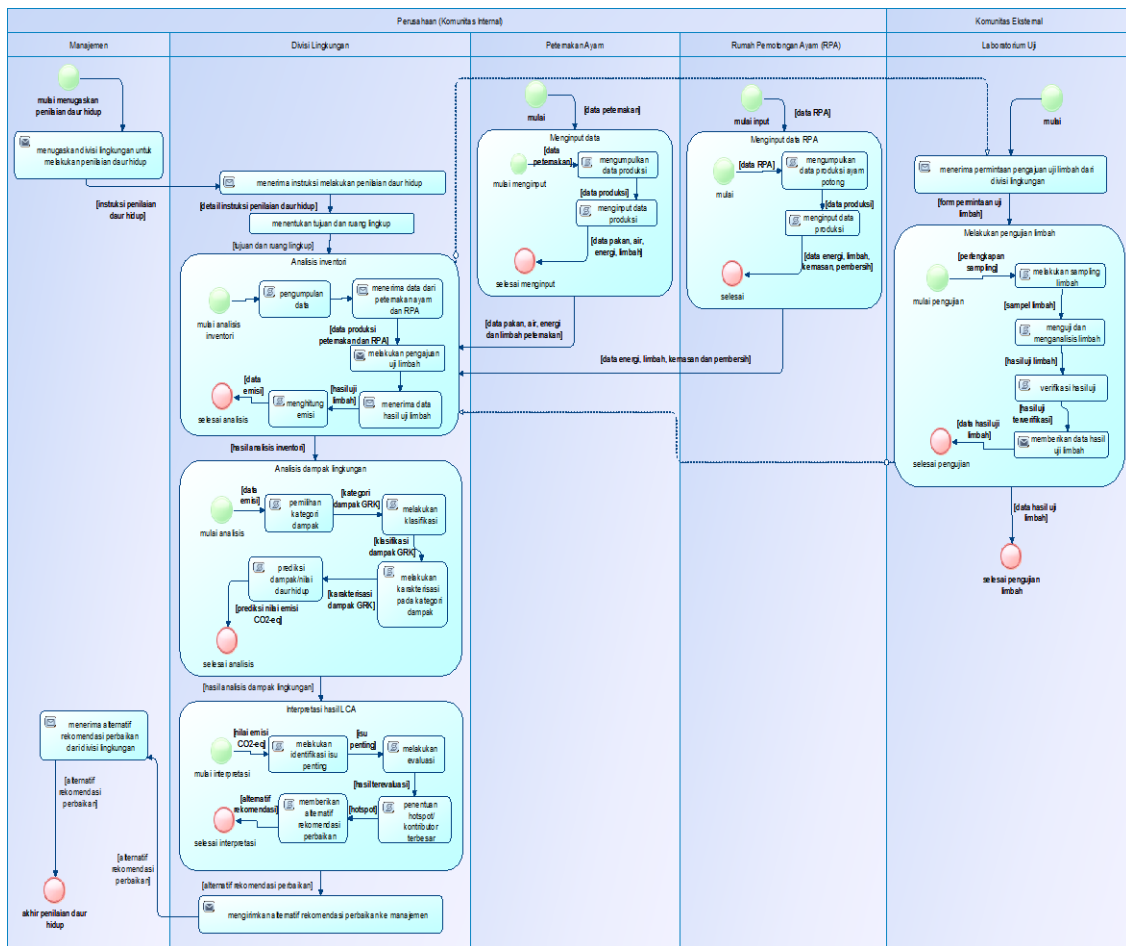
Hasilnya berupa prediksi nilai CO₂-eq yang akan dijadikan sebagai dasar pada tahap interpretasi hasil. Pada tahap ini akan dilakukan identifikasi isu

penting, evaluasi dan penentuan *hotspot*. Hasil prediksi nilai CO₂-eq dan *hotspot* yang telah diketahui akan dijadikan sebagai dasar perumusan rekomendasi perbaikan yang selanjutnya akan diberikan kepada manajemen sebagai akhir dari penilaian daur hidup

ayam potong. BPMN sistem penilaian daur hidup ayam potong disajikan pada Gambar 5. Verifikasi BPMN menunjukkan bahwa tidak terdapat *error* yang ditemukan dalam model.



Gambar 4. Use case diagram sistem penilaian daur hidup ayam potong



Gambar 5. BPMN sistem penilaian daur hidup ayam potong

Desain Sistem Penilaian Daur Hidup

Analisis Dampak Lingkungan dengan Artificial Neural Network (ANN)

Analisis dampak lingkungan dilakukan untuk mengkuantifikasi data inventori menjadi potensi dampak lingkungan (Klopffer dan Grahl, 2014). Dampak lingkungan yang dianalisis dalam sistem ini yaitu potensi emisi gas rumah kaca. Analisis dampak lingkungan dilakukan untuk mengevaluasi dampak emisi gas rumah kaca yang dihasilkan berdasarkan data yang telah dimasukkan ke dalam sistem dengan menggunakan metode ANN.

Dataset yang digunakan berupa data emisi yang terdiri dari 101 baris data dan 8 kolom data. Untuk memprediksi dampak emisi gas rumah kaca, maka target variabelnya adalah emisi CO₂-eq. Variabel target emisi CO₂-eq akan diprediksi oleh 7 variabel prediktor seperti yang terlihat pada Tabel 2 berupa desain variabel model ANN untuk memprediksi dampak emisi gas rumah kaca.

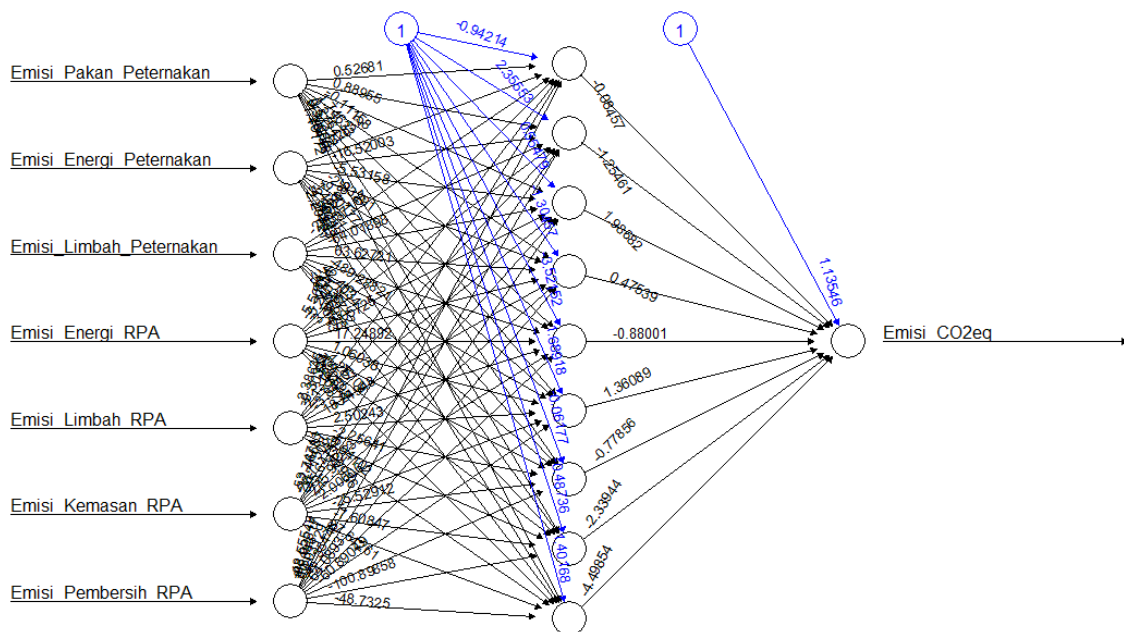
Berdasarkan hasil pengolahan data dengan menggunakan *software* R studio versi 3.6.2, diperoleh

rumus empiris terbaik dari hasil pemodelan ANN dengan konfigurasi ANN 7-9-1 (tujuh variabel *input*, sembilan *neuron* pada satu *hidden layer* serta satu *output*) yang dapat dilihat pada Gambar 6. Model ini terdiri dari 7 variabel yang menjadi *input*, yaitu emisi pakan peternakan, emisi energi peternakan, emisi limbah peternakan, emisi energi RPA, emisi limbah RPA, emisi kemasan RPA dan emisi pembersih RPA. Pada model tersebut hanya memiliki satu *hidden layer* yang disebut dengan *single layer* dan mempunyai 9 *node* atau *neuron*. Jumlah *neuron* ini merupakan jumlah *neuron* yang menghasilkan model terbaik dengan nilai *error* terkecil. Pada model ini hanya memiliki 1 *output* yaitu emisi CO₂-eq.

Menurut Zhang *et al.* (2013), *loss* yang dihasilkan saat *training* pada *network* disebut *error*. Model ini menghasilkan *error* sebesar 0,217564, yang artinya rata-rata nilai prediksi melenceng sebesar 0,217564 dari nilai aktualnya. Tabel 3 menunjukkan perbandingan nilai *error* dari masing-masing model dengan berbagai perbedaan jumlah *neuron*.

Tabel 2. Desain variabel model ANN untuk memprediksi emisi gas rumah kaca

Variabel	Definisi	Jenis Data	Range Data
x_1	Emisi pakan peternakan	Numerik	1,602 – 2,211 kg
x_2	Emisi energi peternakan	Numerik	0,099 – 0,136 kg
x_3	Emisi limbah peternakan	Numerik	0,008 – 0,011 kg
x_4	Emisi energi RPA	Numerik	0,175 – 0,395 kg
x_5	Emisi limbah RPA	Numerik	0,100 – 0,225 kg
x_6	Emisi kemasan RPA	Numerik	0,002 – 0,004 kg
x_7	Emisi pembersih RPA	Numerik	0,002 – 0,004 kg
y	Emisi CO ₂ -eq	Numerik	1,99 – 2,99 kg CO ₂ -eq



Error: 0.217564 Steps: 5571

Gambar 6. Model terbaik dengan konfigurasi ANN 7-9-1

Tabel 3. Perbandingan *error* pada masing-masing model

<i>Hidden Layer</i>	Jumlah <i>Neuron</i>	<i>Error</i>
1	1	0,317659
1	3	0,29804
1	5	0,284272
1	7	0,25399
1	9	0,217564

Setelah mengetahui bentuk *plot* ANN, maka selanjutnya melakukan prediksi model. Model diuji menggunakan data uji dari *dataset* dengan menggunakan fungsi *compute* dan menghasilkan nilai prediksi dari data uji. *Output* dari hasil prediksi model yaitu berupa perbandingan nilai prediksi dengan nilai aktual emisi CO₂-eq. Pada model konfigurasi ANN 7-9-1 menunjukkan bahwa pada nilai aktual emisi CO₂-eq sebesar 1,0000000 maka prediksinya adalah 0,9622257, yang artinya model dapat memprediksi emisi CO₂-eq sebesar 96,22 % dari nilai aktualnya. Tabel 4 memperlihatkan perbandingan nilai prediksi dengan nilai aktual emisi CO₂-eq pada model.

Interpretasi Hasil dengan Ordinary Least Square (OLS)

Setelah melakukan prediksi dampak emisi gas rumah kaca, selanjutnya dilakukan analisis menggunakan OLS untuk menentukan kontributor terbesar atau variabel prediktor (*x*) yang paling mempengaruhi variabel target (*y*). Variabel target emisi CO₂-eq akan diprediksi oleh 7 variabel prediktor yaitu pakan peternakan (*x*₁), penggunaan energi peternakan (*x*₂), limbah peternakan (*x*₃), penggunaan energi RPA (*x*₄), limbah RPA (*x*₅), bahan kemasan RPA (*x*₆) dan bahan pembersih RPA (*x*₇). Berdasarkan hasil pengolahan data dengan menggunakan *software* R studio versi 3.6.2, diperoleh model sebagai berikut:

$$Y = 0,18554 + 0,66102x_1 + 1,56019x_2 + 49,32806x_3 + 1,34260x_4 - 0,05441x_5 - 20,65049x_6 + 44,02029x_7$$

Interpretasi dari model yang dihasilkan dapat dilihat berdasarkan nilai koefisien, yaitu ketika semua prediktor bernilai 0 maka emisi CO₂-eq sebesar 0,18554. Ketika pakan peternakan naik 1 kg maka pakan peternakan akan berkontribusi positif sebesar 0,66102 dan ketika limbah RPA naik 1 kg maka limbah RPA akan berkontribusi negatif sebesar -0,05441, begitupun dengan variabel prediktor lainnya. Selain nilai koefisien, nilai *p-value* akan menunjukkan bagaimana pengaruh variabel prediktor terhadap variabel target. Besarnya *p-value* yang diperoleh adalah kurang dari 2,2 x 10⁻¹⁶, yang artinya variabel target emisi CO₂-eq dipengaruhi secara signifikan oleh variabel prediktor. Sedangkan, *adjusted R-square* yang diperoleh adalah 0,8797 yang berarti bahwa emisi CO₂-eq dapat dijelaskan sebesar 87,97 % oleh prediktor-prediktor dalam model.

Menurut Djatna (2020), RMSE (*Root Mean Square Error*) adalah salah satu metrik paling banyak digunakan untuk mengevaluasi model kesalahan kontinyu. Berdasarkan hasil pemodelan diperoleh nilai RMSE sebesar 0,0747004 yang artinya rata-rata nilai prediksi melenceng sebesar 0,0747004 dari nilai aktualnya. Model tersebut kemudian dilakukan uji asumsi *linearity* untuk memeriksa linearitas antara variabel dengan melihat *p-value* yang bernilai kurang dari 0,05 untuk menolak H₀, sehingga kesimpulannya adalah linear. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh kesimpulan bahwa model yang dibuat adalah linear. Untuk mengetahui korelasi antara variabel *x* dan *y* digunakan uji korelasi Pearson. Berdasarkan hasil uji diketahui bahwa variabel prediktor pakan peternakan, penggunaan energi RPA, dan limbah peternakan berkorelasi tinggi. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa variabel prediktor pakan peternakan merupakan variabel yang paling berpengaruh. Sehingga dengan kata lain merupakan *hotspot* atau kontributor terbesar terhadap emisi CO₂-eq, dengan nilai korelasi sebesar 0,9009266, disusul oleh penggunaan energi RPA sebesar 0,8554684 dan limbah peternakan sebesar 0,8259373. Tabel 5 memperlihatkan nilai korelasi antara variabel prediktor dengan variabel target emisi CO₂-eq.

Tabel 4. Perbandingan nilai prediksi dan nilai aktual emisi CO₂-eq

Jumlah <i>Neuron</i>	Nilai Aktual Emisi CO ₂ -eq (kg CO ₂ -eq)	Nilai Prediksi Emisi CO ₂ -eq (kg CO ₂ -eq)
1	2,96	2,823285
3	2,75	2,842689
5	2,58	2,654299
7	2,09	2,160210
9	2,19	2,258611

Tabel 5. Korelasi antara variabel prediktor terhadap variabel target

Variabel Prediktor	Definisi	Korelasi (r)
x_1	Pakan peternakan	0,9009266
x_2	Penggunaan energi peternakan	0,8080866
x_3	Limbah peternakan	0,8259373
x_4	Penggunaan energi RPA	0,8554684
x_5	Limbah RPA	0,8138485
x_6	Bahan kemasan RPA	0,7743175
x_7	Bahan pembersih RPA	0,7958602

Penentuan Rekomendasi Perbaikan

Hasil dari studi LCA dalam sistem ini menyatakan bahwa pakan memberikan kontribusi terbesar terhadap emisi gas rumah kaca. Hal ini sesuai dengan hasil studi LCA ayam ras pedaging oleh penelitian lain yang menunjukkan bahwa pakan memberikan kontribusi tertinggi baik yang hanya mengevaluasi pada tahapan budidaya, transportasi dan produksi (Leinonen *et al.*, 2012; González-García *et al.*, 2014; Kalhor *et al.*, 2016; Nurhayati *et al.*, 2016; Cesari *et al.*, 2017; Wiedemann *et al.*, 2017; López-Andrés *et al.*, 2018) maupun yang menyertakan tahapan pengolahan daging ayam, penggunaan konsumen hingga pembuangan akhir (Skunca *et al.*, 2018).

Pakan ayam menjadi kontributor terbesar karena selain ekskresi nitrogen dari pakan yang dikonsumsi, juga karena pakan dihasilkan melalui beberapa tahapan proses, mulai dari proses produksi bahan baku pakan, transportasi bahan baku, proses produksi pakan hingga transportasi pakan ke peternakan. Semua kegiatan yang berhubungan dengan pakan tersebut bertanggung jawab atas kerusakan lingkungan. Hal ini dikarenakan pada proses tersebut dibutuhkan sumber daya seperti pupuk, pestisida, air, bahan bakar fosil, listrik, bahan pembersih, bahan kemasan dan sumber daya lain yang dapat menghasilkan limbah dan emisi yang berdampak terhadap lingkungan. Pelletier (2008) melaporkan bahwa pakan menyumbang 82% dari total emisi gas rumah kaca. Hal yang sama dengan penelitian Leinonen *et al.* (2012) bahwa kontribusi pakan terhadap total emisi gas rumah kaca lebih dari 70%. Menurut penelitian González-García *et al.* (2014) dan López-Andrés *et al.* (2018), produksi bahan pakan (penggunaan bahan kimia dan energi) dan penggunaan energi pada produksi pakan merupakan proses utama yang bertanggung jawab terhadap dampak lingkungan. Tahap produksi bahan pakan (budidaya tanaman) membutuhkan *input* sumber daya dan energi yang sangat besar untuk proses pembukaan lahan, perawatan dan perbaikan struktur tanah, serta perawatan tanaman, yang dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca terutama CO₂.

Rekomendasi perbaikan yang berpotensi mengurangi dampak emisi gas rumah kaca dari pakan adalah dengan meningkatkan efisiensi pakan, yaitu dari segi jumlah, komposisi serta kandungan nutrisi

dalam pakan yang dikonsumsi. Jumlah pakan yang dikonsumsi akan mempengaruhi limbah kotoran ayam yang dihasilkan. Konsumsi pakan yang lebih efisien dapat mengurangi jumlah kotoran ayam sehingga emisi NH₃, N₂O dan CH₄ di dalam kandang juga dapat berkurang (Leinonen *et al.*, 2012). Dalam penelitian Kalhor *et al.* (2016) disebutkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara ayam ras pedaging yang dipelihara dalam kandang yang menggunakan sistem *tunnel-ventilation* dengan kandang konvensional. Ayam yang dihasilkan dari kandang dengan sistem *tunnel-ventilation* memiliki bobot yang lebih berat dan memiliki nilai *Feed Conversion Ratio* (FCR) yang lebih baik. Penurunan jumlah konsumsi pakan per kg ayam hidup berkaitan dengan pengurangan beban lingkungan. Tallentire *et al.* (2017) juga menyebutkan bahwa nilai FCR yang lebih baik dapat mengurangi dampak lingkungan. *Feed Conversion Ratio* (FCR) merupakan banyaknya kilogram pakan yang dikonsumsi untuk menghasilkan satu kilogram bobot ayam hidup (Fadilah *et al.*, 2006), sehingga semakin kecil nilai FCR maka semakin efisien pakan yang dikonsumsi.

Penggunaan bahan pakan khusus (aditif) pada pakan seperti enzim dan asam amino dapat meningkatkan kinerja lingkungan (Leinonen dan Kyriazakis, 2016). Formulasi pakan dengan penambahan asam amino dan enzim *phytase* pada penelitian Kebreab *et al.* (2016) mengurangi penggunaan bungkil kedelai impor dari Amerika Serikat sekitar 50% yang menyebabkan terjadinya penurunan dampak pemanasan global sebesar 44%. Penelitian Giannenas *et al.* (2017) melaporkan bahwa penambahan *protease* dan substitusi bungkil kedelai dengan *corn gluten meal* memiliki kinerja lingkungan yang lebih baik dibandingkan standar diet ayam ras pedaging terhadap sembilan kategori dampak lingkungan termasuk pemanasan global. Pengurangan *crude protein* dalam pakan juga merupakan strategi yang relevan untuk mengurangi dampak pemanasan global (Leinonen dan Williams, 2015). Pengurangan *crude protein* dan penambahan enzim *protease* dalam studi Leinonen dan Williams (2015) dapat menurunkan dampak pemanasan global sebesar 2%. Pengurangan *crude protein* sebesar 1% dalam pakan dapat menurunkan ekskresi nitrogen sebesar 10% (Giannenas *et al.*, 2017).

Beberapa penelitian lain melakukan substitusi sebagian maupun keseluruhan dari satu atau beberapa bahan pakan yang ternyata memberikan pengaruh positif terhadap lingkungan. Garcia-Launay *et al.* (2018) melakukan perubahan komposisi pakan di tahap *finisher* dengan mengganti *maize co-products* dan *protein seeds* dengan *wheat co-products*. Hal yang sama seperti dalam penelitian Arroyo *et al.* (2013) yang melakukan substitusi jagung dan bungkil kedelai dengan sorgum dan sumber protein lainnya ternyata sangat efisien dalam mengurangi dampak pemanasan global sebesar 17%. Sementara menurut Dekker *et al.* (2011), mengganti beberapa bahan pakan impor (gandum, bunga matahari, bungkil kedelai) di Belanda dapat menurunkan dampak pemanasan global sebesar 9% dan penggunaan energi sebesar 21%.

Selain pakan, limbah padat organik berupa *litter* yang bercampur dengan kotoran ayam (*manure*) juga dapat meningkatkan emisi NH_3 , N_2O dan CH_4 di peternakan karena manajemen limbah padat organik tersebut (penanganan, penyimpanan dan aplikasinya di lapangan) (Lima *et al.*, 2019). Dalam penelitian González-García *et al.* (2014), diketahui bahwa manajemen *manure* memberikan kontribusi sebesar 11% terhadap dampak pemanasan global, dimana emisi CH_4 berkontribusi 4%. Sedangkan menurut Lima *et al.* (2019), dari total emisi yang dihasilkan dari manajemen *manure*, kontribusi emisi CH_4 18,9%, N_2O *direct* 19,3% dan N_2O *indirect* 61,8%. Lima *et al.* (2019) menambahkan bahwa manajemen *manure* juga menggunakan energi yang berkontribusi menghasilkan emisi gas rumah kaca berupa CH_4 , N_2O dan CO_2 dari penggunaan bahan bakar diesel serta emisi CO_2 dari penggunaan energi listrik. Pengolahan *litter* yang bercampur dengan kotoran ayam (*manure*) melalui pengomposan untuk pupuk organik dapat mengurangi penggunaan sejumlah tertentu pupuk sintetis di lahan pertanian karena komposisi N, P dan K dalam limbah tersebut (Kelleher *et al.*, 2002). Selanjutnya González-García *et al.* (2014) juga menambahkan bahwa aplikasi *manure* sebagai pupuk organik memberikan pengaruh positif terhadap lingkungan yang dapat mengurangi dampak lingkungan hingga 4%. Di sisi lain, manajemen penyimpanan *manure* yang lebih baik dapat mengurangi emisi CH_4 yang dihasilkan (Kalhor *et al.*, 2016).

Penggunaan energi di rumah pemotongan ayam juga ikut berkontribusi terhadap total emisi gas rumah kaca. Konsumsi energi listrik merupakan kontributor utama dalam menghasilkan emisi CO_2 di rumah pemotongan ayam (Hafiz *et al.*, 2017). Energi listrik ini digunakan untuk menyalakan mesin dan peralatan produksi, pendingin, lampu penerangan serta untuk pengoperasian instalasi pengolahan air limbah. González-García *et al.* (2014) dan Hafiz *et al.* (2017) menyebutkan bahwa energi listrik yang digunakan di rumah pemotongan ayam didominasi

oleh keperluan pendingin. Hafiz *et al.* (2017) menambahkan bahwa energi listrik sebagian besar digunakan untuk mengoperasikan kompresor amonia untuk mendinginkan ruangan pendingin dengan suhu -4°C . Penggunaan energi listrik untuk kompresor sebanyak 72% dari total konsumsi listrik, sehingga dengan mengurangi konsumsi listrik di ruang kompresor akan secara signifikan menurunkan emisi CO_2 . Rekomendasi perbaikan untuk mengurangi konsumsi listrik adalah dengan mengurangi waktu ketika memasukkan produk ke ruang pendingin serta mengurangi jumlah pintu masuk di ruang pendingin. Kedua alternatif perbaikan tersebut dapat mengurangi konsumsi listrik sebanyak 5% dengan mengurangi kehilangan panas ke lingkungan. Selain itu, Hafiz *et al.* (2017) dalam penelitiannya juga melaporkan bahwa melalui pemasangan inverter pada kompresor dapat mengurangi konsumsi listrik sebanyak 10%. Meskipun pemasangan inverter pada kompresor ini membutuhkan biaya investasi di awal, namun dengan manfaat yang bisa diperoleh berupa penghematan listrik dapat mengurangi biaya produksi sekaligus mengurangi jumlah emisi CO_2 yang dihasilkan. Pada proses produksi juga dibutuhkan sumber energi panas berupa bahan bakar untuk proses perebusan (*scalding*) yang sebagian besar menggunakan bahan bakar diesel untuk pembakaran di boiler, yang berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO_2 , CH_4 , dan N_2O . Penggunaan bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan seperti biodiesel sebagai pengganti bahan bakar fosil dapat mengurangi dampak lingkungan.

Validasi Sistem

Sistem penilaian daur hidup ayam potong dapat memprediksi dampak lingkungan emisi gas rumah kaca dengan hasil yang mendekati nilai aktualnya. Sistem ini juga dapat menentukan *hotspot* dengan tepat sebagai acuan untuk merumuskan rekomendasi perbaikan yang sesuai.

Keunggulan dan Keterbatasan Sistem

Sistem ini memiliki keunggulan yaitu lebih mudah dan cepat karena setiap aktor memasukkan data yang diperlukan melalui sistem atau *database* inventori, nilai dampak lingkungan dapat terpantau secara *real time*, nilai dampak lingkungan otomatis berubah ketika ada perubahan data inventori, serta hasil yang diperoleh dapat dibandingkan dengan hasil sebelumnya. Selain itu, sistem ini memiliki keterbatasan yaitu penilaian daur hidup (LCA) masih terbatas pada ruang lingkup *cradle-to-gate* (proses budidaya, transportasi dan produksi ayam potong) dengan kategori dampak hanya emisi gas rumah kaca.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Komponen sistem penilaian daur hidup ayam potong telah teridentifikasi. Sistem penilaian daur hidup ayam potong menghasilkan model yang dapat memprediksi dampak emisi gas rumah kaca sebesar 96,22% dari nilai aktualnya dan pakan merupakan kontributor terbesar terhadap emisi gas rumah kaca. Alternatif rekomendasi perbaikan berdasarkan hasil penelitian diantaranya peningkatan efisiensi pakan dari segi jumlah, komposisi serta kandungan nutrisi dalam pakan yang dikonsumsi; pemasangan inverter pada kompresor amonia sebagai upaya penghematan listrik; penggunaan bahan bakar ramah lingkungan seperti biodiesel; pemanfaatan limbah *litter* dan kotoran ayam sebagai pupuk organik yang disertai dengan manajemen penyimpanan *manure* yang lebih baik.

Saran

Desain sistem penilaian daur hidup ayam potong perlu dilanjutkan sampai menjadi *software* perhitungan LCA dengan batasan sistem yang lebih komprehensif yaitu *cradle-to-grave* (mulai dari proses budidaya, transportasi, produksi, distribusi, penggunaan konsumen hingga pembuangan akhir), serta dengan mengkaji lebih banyak kategori dampak lingkungan seperti eutrofikasi dan asidifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anbu P, Hilda A, dan Gopinath SCB. 2004. Keratinophilic fungi of poultry farm and feather dumping soil in Tamil Nadu, India. *Mycopathologia*. 158 (3): 303–309.
- Arroyo J, Fortun-Lamothe L, Auvergne A, Dubois JP, Lavigne F, Bijja M, Aubin J. 2013. Environmental influence of maize substitution by sorghum and diet presentation on goose foie gras production. *Journal Cleaner Production*. 59: 51–62.
- Aziz HA, Puat NNA, Alazaiza MYD, Hung YT. 2018. Poultry slaughterhouse wastewater treatment using submerged fibers in an attached growth sequential batch reactor. *International Journal Environ Res Public Health*. 15 (8): 1–12.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2019. *Produksi Daging Ayam Ras Pedaging Menurut Provinsi*. Jakarta: Badan Pusat Statistik Republik Indonesia.
- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2016. *SNI ISO 14040:2016 tentang Manajemen Lingkungan - Penilaian Daur Hidup - Prinsip dan Kerangka Kerja (Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Cesari V, Zucali M, Sandrucci A, Tamburini A, Bava L, Toschi I. 2017. Environmental impact assessment of an Italian vertically integrated broiler system through a life cycle approach. *Journal Cleaner Production*. 143: 904–911.
- Dekker SEM, de Boer IJM, Vermeij I, Aarnink AJA, Koerkamp PWGG. 2011. Ecological and economic evaluation of Dutch egg production systems. *Livest Science* 139 (1–2): 109–121.
- Djatna T. 2020. *Analisis dan Desain Sistem Produksi Agroindustri: Pendekatan Digital Business Ecosystem*. Bogor: IPB Press.
- Fadilah R, Polana A, Alam S, Parwanto E. 2006. *Sukses Beternak Ayam Broiler*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Garcia-Launay F, Dusart L, Espagnol S, Laisse-Redoux S, Gaudré D, Méda B, Wilfart A. 2018. Multiobjective formulation is an effective method to reduce environmental impacts of livestock feeds. *Brazilian Journal Nutr*. 120 (11): 1298–1309.
- Giannenas I, Bonos E, Anestis V, Filioussis G, Papanastasiou DK, Bartzanas T, Papaioannou N, Tzora A, Skoufos I. 2017. Effects of protease addition and replacement of soybean meal by corn gluten meal on the growth of broilers and on the environmental performances of a broiler production system in Greece. *PLoS One*. 12 (1): 1–26.
- González-García S, Gomez-Fernández Z, Dias AC, Feijoo G, Moreira MT, Arroja L. 2014. Life cycle assessment of broiler chicken production: A Portuguese case study. *Journal Cleaner Production*. 74: 125–134.
- Hafiz MIM, Zulfattah ZM, Munajat NA, Sakinah ABF, Asyraf HM. 2017. Cleaner production implementation at chicken slaughtering plant. *ARPN J Eng Appl Sci*. 12 (14): 4324–4328.
- Han J, Kamber M, dan Pei J. 2012. *Data Mining: Concepts and Techniques*. 3rd ed. Waltham: Elsevier.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. *Fourth Assessment Report (AR4)*. Washington DC (UK): IPCC.
- Joshi SG, Tejashwini M., Revati N, Sridevi R, Roma D. 2007. Isolation, identification and characterization of a feather degrading bacterium. *International Journal Poult Science*. 6 (9): 689–693.
- Kalhor T, Rajabipour A, Akram A, Sharifi M. 2016. Environmental impact assessment of chicken meat production using life cycle assessment. *Inf Process Agric*. 3 (4): 262–271.
- Kebreab E, Liedke A, Caro D, Deimling S, Binder M, Finkbeiner M. 2016. Environmental impact of using specialty feed ingredients in swine and poultry production: A life cycle assessment. *Journal Animal Science*. 94 (6): 2664–2681.
- Kelleher B, Leahy J, Henihan A, O'Dwyer T, Sutton D, Leahy M. 2002. Advances in poultry litter disposal technology - A review. *Bioresour Technol*. 83: 27–36.
- Klopffer W, Grahl B. 2014. *Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Kuncoro M. 2014. *Metode Riset Untuk Bisnis &*

- Ekonomi: Bagaimana Meneliti dan Menulis Tesis?*. 4th ed. Jakarta: Erlangga.
- Leinonen I, Kyriazakis I. 2016. How can we improve the environmental sustainability of poultry production?. *Proc Nutr Soc.* 75 (3): 265–273.
- Leinonen I, Williams AG. 2015. Effects of dietary protease on nitrogen emissions from broiler production: A holistic comparison using life cycle assessment. *Journal Science Food Agricultur.* 95 (15): 3041–3046.
- Leinonen I, Williams AG, Wiseman J, Guy J, Kyriazakis I. 2012. Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Broiler production systems. *Poult Sci.* 91 (1): 8–25.
- Lima ND da S, Nääs I de A, Garcia RG, Moura DJ de. 2019. Environmental impact of Brazilian broiler production process: Evaluation using life cycle assessment. *Journal Cleaner Production.* 237: 117752.
- López-Andrés JJ, Aguilar-Lasserre AA, Morales-Mendoza LF, Azzaro-Pantel C, Pérez-Gallardo JR, Rico-Contreras JO. 2018. Environmental impact assessment of chicken meat production via an integrated methodology based on LCA, simulation and genetic algorithms. *Journal Cleaner Production.* 174: 477–491.
- Nurhayati, Marimin, Djatna T, Permana IG. 2016. Kinerja rantai pasok dan nilai tambah dengan internalisasi aspek lingkungan pada agroindustri ayam ras pedaging. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian.* 26 (3): 311–320.
- Pelletier N. 2008. Environmental performance in the US broiler poultry sector: Life cycle energy use and greenhouse gas, ozone depleting, acidifying and eutrophying emissions. *Agric Syst.* 98 (2): 67–73.
- Russell SJ, Norvig P. 2010. *Artificial Intelligence: A Modern Approach.* 3rd ed. New Jersey: Pearson.
- Siang JJ. 2005. *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan Matlab.* Yogyakarta: ANDI.
- Skunca D, Tomasevic I, Nastasijevic I, Tomovic V, Djekic I. 2018. Life cycle assessment of the chicken meat chain. *Journal Cleaner Production.* 184: 440–450.
- Suffian SA, Sidek AA, Matsuto T, Al Hazza MH, Yusof HM, Hashim AZ. 2018. Greenhouse gas emission of broiler chicken production in Malaysia using life cycle assessment guidelines: A case study. *Journal Eng Mater Manuf.* 3 (2): 87–97.
- Tallentire CW, Mackenzie SG, Kyriazakis I. 2017. Environmental impact trade-offs in diet formulation for broiler production systems in the UK and USA. *Agric Syst.* 154: 145–156.
- Wiedemann SG, McGahan EJ, Murphy CM. 2017. Resource use and environmental impacts from Australian chicken meat production. *Journal Cleaner Production.* 140: 675–684.
- Zhang X, Liu Y, Yang M, Zhang T, Young AA, Li X. 2013. Comparative study of four time series methods in forecasting typhoid fever incidence in China. *PLoS One.* 8 (5): e63116.