

Perancangan Alat Pneumatic Stunner Pada Rumah Potong Hewan Ciroyom Depot Dengan Fokus Pemingsanan Halal dan Kesejahteraan Hewan Menggunakan Metode Quality Function Deployment

1st Amirah Khairunnisa
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

amirahkhr@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Agus Kusnayati
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

guskus@telkomuniversity.ac.id

3rd Muhammad Iqbal
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

muhiqbal@telkomuniversity.ac.id

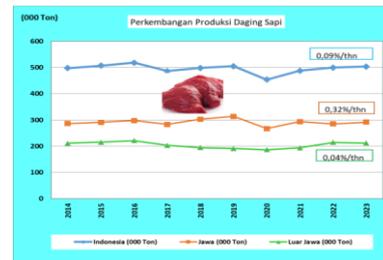
Penelitian Tugas Akhir ini bertujuan untuk merancang alat Pneumatic Stunner ergonomis sebagai solusi terhadap permasalahan ergonomi dan efektivitas pemingsanan sapi di Rumah Potong Hewan (RPH) Ciroyom Depot. Permasalahan utama yang ditemukan melalui observasi dan wawancara dengan operator adalah adanya hentakan balik atau recoil yang tinggi, desain pegangan yang tidak ergonomis, serta sistem pemacu yang kurang aman dan nyaman digunakan. Penelitian ini menggunakan pendekatan Quality Function Deployment (QFD) untuk menerjemahkan kebutuhan pengguna ke dalam atribut teknis produk. Tahapan QFD meliputi identifikasi Need Statement, penyusunan Technical Responses, pemilihan konsep desain, dan penentuan spesifikasi akhir. Konsep desain terbaik yang dihasilkan terdiri dari kombinasi dua pegangan yaitu Main Handle dan Ergonomic Side Handle, mekanisme pemacu sederhana berupa Dual Trigger Pneumatic, sistem pengaman aktif dengan prinsip aktivasi ganda, dan bentuk tuas pemacu Industrial Grip Trigger. Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) dilakukan untuk memverifikasi performa desain nozzle dan memastikan kesesuaian tekanan udara terhadap standar halal. Hasil validasi melalui wawancara operator dan perbandingan desain existing menunjukkan peningkatan kenyamanan, keamanan, dan efektivitas penggunaan alat. Penelitian ini menghasilkan rancangan Pneumatic Stunner yang tidak hanya sesuai dengan prinsip halal dan regulasi kesejahteraan hewan, tetapi juga mampu meningkatkan ergonomi kerja operator secara signifikan.

Kata kunci— pneumatic stunner, ergonomi, QFD, pemingsanan halal, desain alat, RPH.

I. PENDAHULUAN

Industri peternakan sapi dan pengolahan daging memegang peran penting dalam memenuhi kebutuhan pangan masyarakat Indonesia. Daging sapi merupakan salah satu komoditas utama dalam sektor peternakan pangan karena kandungan gizinya yang tinggi, terutama sebagai sumber protein, selain produk unggas. Produk pangan seperti daging, telur, dan susu dikenal sebagai sumber protein hewani yang penting. Jika dilihat berdasarkan wilayah, selama periode 2019–2023, produksi daging sapi di Pulau Jawa mengalami penurunan rata-rata sebesar 0,42% per tahun, sedangkan wilayah di luar Jawa justru mencatat

pertumbuhan rata-rata sebesar 1,84% per tahun. Populasi sapi di luar Jawa tidak hanya mencukupi kebutuhan lokal, tetapi juga berperan penting dalam menyuplai sapi bakalan untuk wilayah Jawa dan Sulawesi, terutama dari Provinsi Nusa Tenggara Timur dan Nusa Tenggara Barat. Hal ini terjadi karena tingginya jumlah penduduk di Pulau Jawa berdampak pada tingginya konsumsi daging per kapita, sehingga mendorong kebutuhan produksi yang lebih besar di wilayah tersebut.



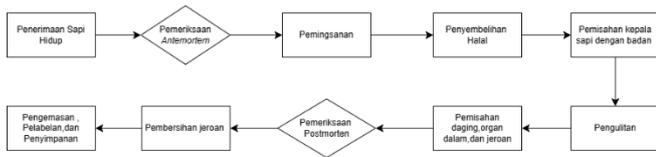
GAMBAR 1.

Data Perkembangan Produksi Daging Sapi di Indonesia 2014 – 2023

Tingginya konsumsi daging sapi ini turut mendorong pertumbuhan Rumah Potong Hewan (RPH) sapi lokal sebagai fasilitas utama dalam proses penyediaan daging berkualitas, namun juga memastikan proses penyembelihan hingga pengolahan sesuai dengan prinsip HALAL. Prinsip halal ini menjadi sangat penting mengingat mayoritas penduduk Indonesia beragama Islam yang dimana membutuhkan jaminan halal pada produk daging yang dikonsumsi. Salah satu RPH yang beroperasi secara profesional adalah RPH Ciroyom Depot di Kota Bandung. RPH Ciroyom Depot merupakan rumah potong hewan yang berada di bawah Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kota Bandung dengan kapasitas pemotongan sapi sebanyak 30-40 ekor sapi per hari.

Kehalalan daging tidak hanya bergantung pada proses penyembelihannya saja, namun juga mencakup pada prosedur pemingsanan hewan yang dilakukan sebelumnya. Proses pemingsanan ini menjadi krusial dalam mengurangi rasa sakit dan stres pada hewan, meningkatkan efisiensi operasional, serta menjaga kualitas daging yang dihasilkan.

Dibawah ini merupakan alur proses pemotongan halal pada sapi di RPH.



GAMBAR 2.
Alur Proses Pemotongan Halal

Alat pemingsanan sapi yang saat ini digunakan di RPH Ciroyom Depot adalah *stunning gun*. *Stunning gun* merupakan perangkat yang dirancang untuk membuat sapi kehilangan kesadaran sebelum proses penyembelihan. Secara umum, terdapat dua jenis utama stunning gun yang digunakan di rumah potong hewan, yaitu *captive bolt stunner* dan *pneumatic stunner*. Jenis *captive bolt stunner* bekerja dengan cara menembakkan bolt secara mekanis ke kepala sapi menggunakan energi mekanik atau tekanan udara. Alat ini dikenal memiliki efektivitas pemingsanan yang cepat dan tersedia dalam dua jenis, pertama adalah jenis penetratif yang memastikan sapi kehilangan kesadaran dengan cara menembus tengkorak, kedua adalah jenis non-penetratif yang hanya memukul tengkorak tanpa melukai otak. Meskipun efektif, tipe penetratif memiliki kelemahan, yaitu risiko kerusakan jaringan otak yang dapat menimbulkan keraguan terkait kehalalan daging.



GAMBAR 3.
Jenis *Captive Bolt Stunner* di RPH Ciroyom Depot

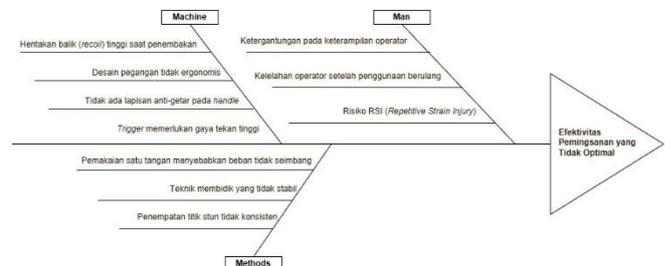
Sementara itu, jenis *Pneumatic Stunner* dapat memberikan stabilitas daya yang lebih baik dengan menggunakan tekanan udara untuk mendorong *bolt* ke kepala sapi. Salah satu keunggulan dari alat ini adalah kemampuannya yang dapat disesuaikan dengan ukuran dan kondisi hewan, hal ini menjadikannya pilihan yang lebih fleksibel di rumah potong hewan. Jenis *Pneumatic Stunner* cocok digunakan untuk sapi besar dengan ukuran yang bervariasi dan juga menghasilkan pemingsanan yang lebih konsisten dibandingkan metode mekanis.



GAMBAR 4.
Jenis *Pneumatic Stunner* di RPH Ciroyom Depot

Dapat disimpulkan bahwa proses pemingsanan merupakan langkah penting sebelum penyembelihan yang bertujuan untuk mengurangi rasa sakit dan stres pada hewan serta meningkatkan efisiensi operasional. Namun, salah satu dari alat pemingsanan yang saat ini digunakan di RPH Ciroyom Depot, yaitu jenis *Pneumatic Stunner* memiliki beberapa kelemahan. Permasalahan yang ditemukan adalah adanya risiko ergonomi yang dirasakan oleh operator. Meskipun *Pneumatic Stunner* lebih disukai karena bersifat non-penetratif dan dapat disesuaikan, dalam implementasinya alat ini masih menimbulkan efek hentakan balik (*recoil*) yang kuat. Hal ini menyebabkan keluhan nyeri pada tangan, pergelangan, hingga bahu operator terutama setelah penggunaan dalam waktu lama. Permasalahan ini tidak hanya berdampak pada keselamatan dan kenyamanan kerja operator, tetapi juga pada konsistensi keberhasilan stunning, yang merupakan aspek krusial dalam memenuhi standar halal dan kesejahteraan hewan.

Faktor lain seperti keterbatasan desain pegangan, tidak adanya lapisan peredam getar, serta desain pemicu yang belum ergonomis memperparah potensi *Repetitive Strain Injury* (RSI). Berdasarkan hasil observasi dan wawancara di lapangan, keluhan ini menjadi tantangan yang sering muncul, khususnya pada proses *stunning* sapi jenis berbobot besar. Permasalahan tersebut dapat dijabarkan berdasarkan tiga faktor utama, pertama yaitu *Man* yang merupakan manusia dan didalam kasus ini adalah seorang operator mesin, kedua yaitu *Method* yang merupakan metode kerja, dan ketiga adalah *Machine* yang digunakan yaitu *pneumatic stunner*. Berikut dibawah ini merupakan pemetaan akar dari masalah yang terjadi melalui Diagram *fishbone*.



GAMBAR 5.
Diagram *Fishbone*

Berdasarkan uraian permasalahan di atas, dapat disimpulkan bahwa efektivitas pemingsanan sapi dengan *Pneumatic Stunner* di RPH belum sepenuhnya optimal, baik dari segi keberhasilan *stunning* dalam satu kali tembakan maupun dari sisi kenyamanan dan keselamatan operator.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian dan perancangan ulang desain terhadap beberapa bagian kritis alat *Pneumatic Stunner*, dengan fokus pada peningkatan kenyamanan, pengurangan risiko cedera, serta pemenuhan standar halal dan kesejahteraan hewan.

II. KAJIAN TEORI

A. Rumah Potong Hewan (RPH)

Berdasarkan Peraturan Menteri Pertanian Nomor 13/PERMENTAN/OT.140/1/2010 [3], Rumah Potong Hewan atau RPH adalah suatu bangunan atau kompleks bangunan dengan desain dan syarat tertentu yang digunakan sebagai tempat memotong hewan bagi konsumsi masyarakat umum.

B. Prinsip Halal dalam Penyembelihan Hewan

Pengertian Penyembelihan Hewan berdasarkan Permentan Nomor 13 Tahun 2010 [3], adalah kegiatan mematikan hewan hingga tercapai kematian sempurna dengan cara menyembelih yang mengacu kepada kaidah kesejahteraan hewan dan syariah agama Islam. Menurut Majelis Ulama Indonesia (MUI), proses penyembelihan hewan halal meliputi perebahan, pemingsanan (jika digunakan), dan memutus esofagus, trakea, vena jugularis dan arteri karotis.

C. Kesejahteraan Hewan (*Animal Welfare*)

Penerapan kesejahteraan hewan pada proses penyembelihan telah diatur di dalam *The Humane Methods of Slaughter Act* Bagian 2, Tahun 1958 [9]. Semua hewan yang akan disembelih harus tidak merasakan sakit sebelum diangkat, dirobek, atau disembelih. Hukum tersebut mengizinkan penyembelihan hewan yang memenuhi persyaratan ritual agama dari keyakinan agama apapun yang mengatur metode penyembelihan hewan dengan alat atau instrumen tajam untuk pemotongan arteri karotis sehingga hewan kehilangan kesadarannya dan mati

D. Alat Pemingsanan Hewan

Penggunaan alat pemingsanan harus meminimalkan rasa sakit dan risiko pemulihan kesadaran pada hewan sebelum penyembelihan. Gregory (2008) mengemukakan bahwa proses hilangnya fungsi otak hewan akan lebih lama saat hewan disembelih tanpa pemingsanan. Penggunaan pneumatic stunner yang dilengkapi dengan pengatur tekanan udara lebih direkomendasikan karena menghasilkan pemingsanan yang konsisten dengan kerusakan jaringan otak minimal, sehingga lebih ramah terhadap standar kesejahteraan hewan dan prinsip halal (Atkinson, 2016) [10].

E. Pengembangan Produk

Product development adalah rangkaian aktivitas yang dimulai dari analisis peluang pasar, dilanjutkan dengan proses produksi, pemasaran, hingga distribusi produk kepada konsumen (Ulrich et al., 2020) [1]. Secara umum, product development process dapat dibagi ke dalam tujuh tahapan utama, *Identify Customer Needs, Establish Target Specification, Generate Product Concepts, Select Product Concepts, Test Product Concepts, Set Final Specification.*

F. *Quality Function Deployment* (QFD)

Adalah pendekatan sistematis untuk memastikan bahwa kebutuhan dan keinginan pelanggan diterjemahkan secara efektif ke dalam desain produk atau layanan. QFD membantu tim pengembangan dalam merencanakan dan mengevaluasi setiap fitur produk berdasarkan dampaknya terhadap kebutuhan pelanggan. Proses ini melibatkan pengumpulan Voice of Customer (VOC), analisis teknis, dan penetapan prioritas untuk memastikan produk yang dihasilkan memenuhi atau melampaui harapan pelanggan (Ficalora & Cohen, 2010) [2].

G. *House of Quality* (HoQ)

Adalah konstruksi utama dari QFD dan merupakan matriks yang sangat kompleks dalam arti terdiri dari beberapa matriks yang melekat satu sama lain. HoQ berfungsi sebagai alat visual untuk mengintegrasikan berbagai perspektif, termasuk kebutuhan pelanggan, respon teknis, dan prioritas pengembangan, yang disusun secara sistematis untuk mendukung proses desain produk atau layanan (Ficalora & Cohen, 2010) [2].

H. *Prototyping*

Proses *prototyping* adalah proses pembuatan representasi fisik atau digital dari suatu produk untuk mengevaluasi dan mengembangkan ide desain (Ulrich et al., 2020) [1]. Proses ini dilakukan untuk menguji aspek dan konsep produk, seperti fungsionalitas, estetika, dan performa, serta mengidentifikasi kemunculan potensi masalah sebelum akhirnya memasuki tahap produksi massal

I. Autodesk Inventor

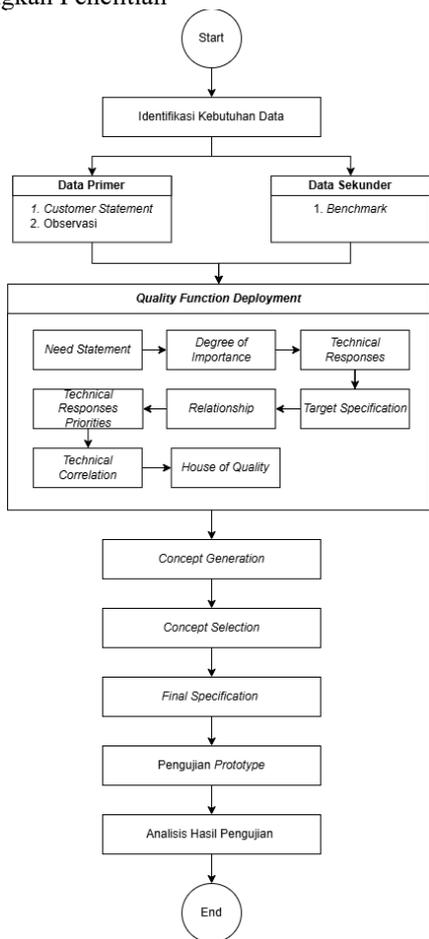
Autodesk Inventor merupakan sebuah perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD) yang dikembangkan dan dirilis oleh Autodesk Corp untuk mendukung proses desain dan modifikasi objek dalam format 2D maupun 3D (Seprianto, 2011). Perangkat lunak ini memungkinkan pengguna untuk dapat merancang produk melalui sketsa 2D, kemudian memodelkannya menjadi bentuk 3D, dan melanjutkannya ke tahap pembuatan prototype virtual hingga simulasi produk.

J. *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Menurut Blazek (2005) [4], *Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah metode simulasi numerik berbasis perhitungan yang digunakan untuk memprediksi perilaku aliran fluida dalam sistem teknik, seperti distribusi kecepatan, tekanan, temperature, dan distribusi energi dalam sistem mekanis.

III. METODE

A. Langkah Penelitian



GAMBAR 6.

Rancangan Prosedur Penelitian

Penelitian ini dirancang untuk merancang dan memvalidasi alat *pneumatic stunner* yang ergonomis dan sesuai dengan prinsip halal serta standar kesejahteraan hewan, khususnya untuk diterapkan di Rumah Potong Hewan (RPH) Ciroyom Depot.

B. Pengumpulan Data

Langkah pertama dimulai dengan identifikasi kebutuhan data melalui pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dari hasil observasi langsung di lapangan terhadap proses pemingsanan sapi dan wawancara mendalam dengan dua orang operator *stunning* yang aktif menggunakan alat *existing*. Observasi mencakup aspek posisi tubuh operator, cara menggenggam alat, serta kendala yang dihadapi selama proses *stunning*. Sedangkan wawancara difokuskan pada pengalaman pengguna terkait kenyamanan, keamanan, efektivitas, serta aspirasi mereka terhadap desain alat yang ideal. Sementara itu, data sekunder dikumpulkan dari referensi pustaka dan *benchmarking* terhadap produk sejenis yang telah ada di pasaran serta panduan perancangan produk dari standar internasional seperti *ISO 12100:2010 – Safety of Machinery*, *ISO 13849-1:2015 – Safety-Related Parts of Control Systems*, Fatwa MUI No. 12 Tahun 2009, OIE (World Organisation for Animal Health), dan OIC/SMIIC 1:2019 tentang penyembelihan halal.

C. Pengolahan Data

Setelah data terkumpul, dilakukan proses analisis menggunakan pendekatan *Quality Function Deployment* (QFD) sebagai metode utama dalam menterjemahkan kebutuhan pengguna menjadi atribut teknis produk. Tahapan QFD dimulai dari merumuskan *need statement* berdasarkan hasil wawancara dan observasi lapangan, kemudian menetapkan *degree of importance* untuk memberi bobot prioritas pada setiap kebutuhan. Selanjutnya diturunkan ke dalam *technical responses*, yaitu atribut teknis terukur yang menjadi target spesifikasi desain alat, seperti jenis pegangan, jumlah komponen fungsional, tipe ujung tembakan, dan sistem pengaman aktif. Setelah itu disusun matriks *relationship* untuk memetakan kekuatan hubungan antara kebutuhan pengguna dan atribut teknis, dilanjutkan dengan penyusunan *technical correlation matrix* untuk melihat keterkaitan antar atribut teknis. Hasil akhir dari tahapan ini adalah penyusunan *House of Quality* (HoQ) yang menjadi dasar penetapan prioritas atribut teknis untuk dikembangkan dalam rancangan produk.

D. Metode Penelitian

Berdasarkan hasil QFD, dilakukan pengembangan beberapa alternatif konsep desain (*concept generation*) yang memuat variasi komponen utama seperti bentuk pegangan, sistem pemicu, dan sistem pengaman. Alternatif desain tersebut kemudian dievaluasi menggunakan metode *concept screening* dan *concept scoring* untuk menentukan desain terbaik berdasarkan kriteria ergonomi, keamanan, dan efektivitas. Konsep yang terpilih kemudian dirinci menjadi *final specification*, yaitu bentuk akhir dari desain alat yang akan diuji dan divalidasi. Validasi dilakukan melalui beberapa metode, yaitu: (1) simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD), (2) Umpan balik dari operator RPH Ciroyom Depot terhadap desain visual 3D alat, (3) Perbandingan desain *existing* dengan desain usulan berdasarkan parameter ergonomi, keamanan, dan prinsip halal.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Identifikasi Kebutuhan Data

Pada penelitian ini, sesuai dengan kebutuhan data yang tercantum dalam Gambar 6. Prosedur Penelitian, digunakan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Berikut ini adalah data-data yang telah dikumpulkan untuk mendukung proses penelitian dalam perancangan usulan perbaikan desain alat *Pneumatic Stunner*.

TABEL 1.
Dampak Permasalahan dan Kebutuhan Pengguna

NO	Narasumber	Customer Statement	Need Statement
1	Adi Candra	Tangan saya seperti terdorong mundur. Pernah juga tangan saya pegal lama setelah shift potong banyak.	Produk Nyaman Digunakan
	Krisna	Pegangannya juga keras, jadi tidak menyerap getaran sama sekali.	

2	Adi Candra	Saya harus perhatikan posisi badan dan tangan sebelum menembak. Kalau posisi tidak pas atau sapi gerak, bisa bahaya.	Produk Mudah Di-operasikan
	Krisna	Kalau posisi tubuh tidak tepat, bisa terpeleset atau cedera.	
3	Adi Candra	Alat ini dipilih karena aman, tahan lama, dan kuat saat digunakan.	Produk Bersifat Kuat dan Tahan Lama
	Krisna	Ketahanan dan keamanan alat penting untuk memastikan kualitas kerja dan keselamatan jangka panjang. Kalau dirawat, alat ini cukup awet dan jarang rusak.	
4	Adi Candra	Selain itu, alatnya cukup berat di ujung dan pegangan cuma satu, jadi kurang stabil.	Produk Memiliki Permukaan Yang Stabil
	Krisna	Saya lihat banyak operator baru kesulitan karena alatnya berat dan tidak stabil.	
5	Adi Candra	Kalau alat ini dipakai terus-terusan dengan satu tangan, lama-lama terasa beban fisiknya. Getaran dari tembakannya keras dan langsung ke sendi.	Produk Aman Saat Digunakan
	Krisna	Kadang saat menembakkan alat ini, ada hentakan balik yang cukup kuat. Kalau posisi tangan saya kurang siap atau terlalu lama bekerja, bisa terasa nyeri di pergelangan dan bahu.	

6	Adi Candra	Kalau pegangan dilapisi bahan empuk, mungkin hentakannya bisa diredam.	Produk Dapat Meminimalisir Beban Fisik Pengguna
	Krisna	Saya mendukung kalau ada desain dengan dua pegangan. Itu akan lebih stabil dan aman. Pegangan juga sebaiknya dilapisi bahan peredam getaran.	
7	Adi Candra	Kalau bisa lebih ringan juga, karena dipakai sehari-hari itu terasa berat.	Produk Memiliki Bobot Yang Ringan
	Krisna	Kalau alatnya bisa lebih ringan, itu akan sangat membantu operator.	

Hasil rekapitulasi *need statement* tersebut disusun secara sistematis dan dijadikan acuan dalam pengembangan desain yang lebih optimal.

TABEL 2.
Need Statement

Atribut Kebutuhan	<i>Need Statement</i>
V1	Produk Nyaman Digunakan
V2	Produk Mudah Dioperasikan
V3	Produk Bersifat Kuat dan Tahan Lama
V4	Produk Memiliki Permukaan yang Stabil
V5	Produk Aman Saat Digunakan
V6	Produk Dapat Meminimalisir Beban Fisik Pengguna
V7	Produk Memiliki Bobot yang Ringan

B. *House of Quality* (HoQ)

Adalah sebuah matriks yang digunakan untuk mengaitkan kebutuhan pengguna dengan spesifikasi teknis dari produk yang dirancang. HoQ merupakan tahapan inti dalam metode QFD yang menghubungkan kebutuhan pengguna (*Need Statements*) dengan spesifikasi teknis alat (*Technical Responses*). Proses dimulai dari penetapan *degree of importance* untuk setiap kebutuhan pengguna, yang diperoleh berdasarkan hasil observasi dan wawancara operator RPH Ciroyom Depot. Setelah itu, dilakukan penilaian *relationship* antara masing-masing *need statement* dan *technical response* menggunakan skala 1, 3, dan 9 (*low, medium, high relationship*).

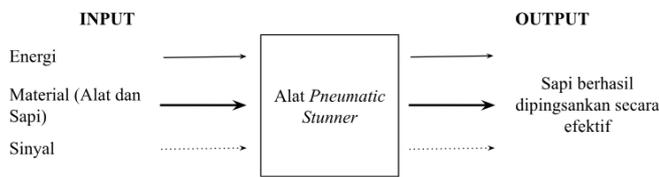
Skor *relationship* ini kemudian dikalikan dengan bobot *degree of importance* untuk menghasilkan nilai *absolute importance* dari setiap atribut teknis. Semakin tinggi *absolute importance* terhadap pemenuhan kebutuhan pengguna. Nilai *absolute importance* yang diperoleh, selanjutnya dijadikan sebagai dasar dalam proses *concept screening* dan *concept scoring*. Konsep yang paling banyak memenuhi *technical responses* dengan skor prioritas tertinggi kemudian dipilih sebagai rancangan akhir, sehingga proses pemilihan konsep tetap konsisten dengan kebutuhan pengguna yang telah teridentifikasi secara kuantitatif.

Direction of Goodness		TB	TB	LTB	LTB	TB	MTB	MTB
		Desain Pegangan Ergonomis	Karakteristik Material	Mekanisme Pemicu Sederhana	Jumlah Komponen Fungsional	Tipe Ujung Tambahan	Lapisan Pelindungan Anti-Getas	Sistem Pengaman Aktif
No	Need Statement	1	2	3	4	5	6	7
V1	Produk Nyaman Digunakan	⊙	○	△	△	△	⊙	○
V2	Produk Mudah Dioperasikan	○	△	△	⊙	△	△	○
V3	Produk Bersih Kuat dan Tahan Lama	△	⊙	○	○	△	△	○
V4	Produk Memiliki Permukaan yang Stabil	⊙	△	△	△	⊙	△	△
V5	Produk Aman Saat Digunakan	○	○	△	△	○	⊙	⊙
V6	Produk Dapat Memramalisir Beban Fisik Pengguna	⊙	○	△	○	△	○	○
V7	Produk Memiliki Bobot yang Ringan	○	⊙	△	○	△	○	△
Metric Technical Responses		1	2	3	4	5	6	7
Absolute Importance		169	117	68	95	77	165	109
Ranking		1	3	7	5	6	2	4

GAMBAR 7. House of Quality

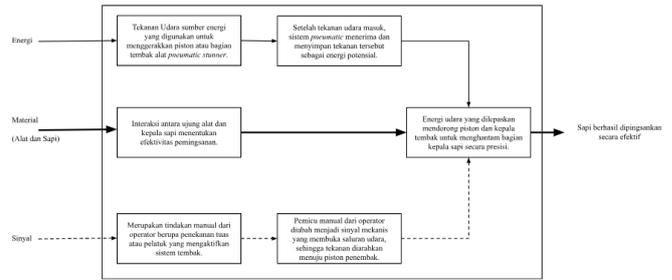
C. Concept Generation

Diawali dengan penetapan kebutuhan dan spesifikasi yang diharapkan oleh pengguna, yang kemudian dijadikan sebagai dasar utama dalam merancang berbagai alternatif konsep produk. Untuk memberikan gambaran awal yang sederhana mengenai fungsi produk, digunakan pendekatan Black Box, yang hanya memperhatikan sisi input dan output tanpa menggambarkan proses internal secara rinci.



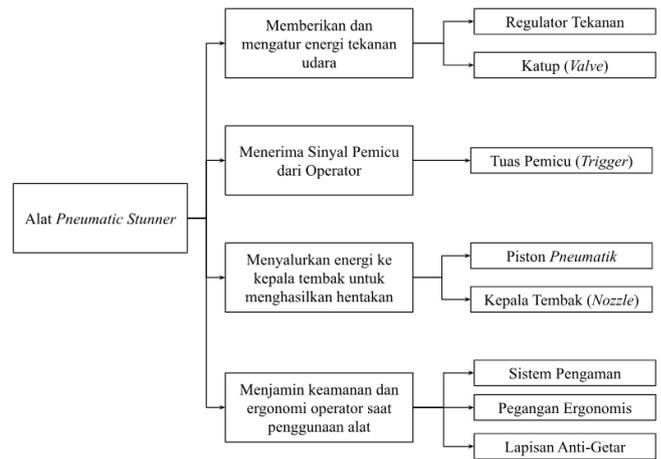
GAMBAR 8. Black Box Alat Pneumatic Stunner

Langkah berikutnya adalah mendekomposisi permasalahan produk ke dalam sub-fungsi yang lebih rinci. Proses ini dilakukan dengan memecah sistem utama menjadi komponen-komponen fungsional yang lebih kecil dan spesifik, sehingga masing-masing sub-fungsi dapat dievaluasi serta dikembangkan secara lebih terfokus.



GAMBAR 9. Sub Function Diagram

Langkah selanjutnya adalah melakukan dekomposisi lebih lanjut untuk membagi fungsi tersebut ke dalam elemen-elemen yang lebih sederhana.

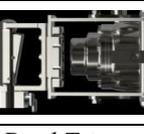


GAMBAR 10. Dekomposisi Fungsi

Langkah berikutnya adalah mencari solusi untuk setiap sub-fungsi yang telah diidentifikasi, melalui proses pencarian internal dan eksternal.

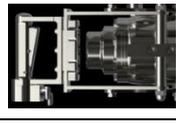
TABEL 3. Pencarian Internal dan Eksternal

Fungsi	Opsi 1	Opsi 2	Opsi 3
Bentuk Tuas Pemicu (Trigger)	Standard Trigger	Industrial Grip Trigger	
Sistem Pengaman Aktif	Dual Trigger Activation	Locking Safety Pin	
Desain Pegangan Ergonomis	Single Straight Handle	T-Handle	Tidak ada pegangan

Lapisan Pegangan Anti-getar			
	<i>Rubber Grip</i>	Tidak pakai <i>Rubber Grip</i>	
Mekanisme Pemicu			
	<i>Standard Trigger Mechanism</i>	<i>Dual Trigger Pneumatic Mechanism</i>	

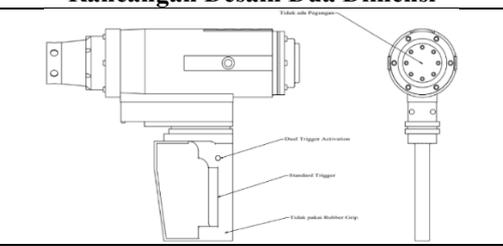
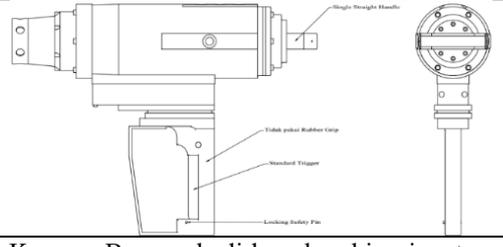
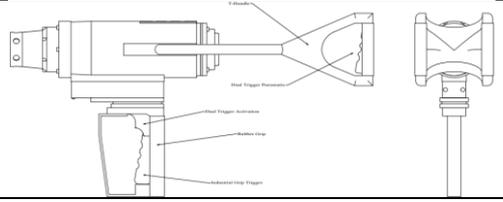
Setelah berbagai alternatif opsi untuk setiap aspek berhasil diidentifikasi melalui pencarian internal dan eksternal, tahapan selanjutnya adalah menyusun konsep produk.

TABEL 4.
Tabel Pemilihan Konsep

Fungsi	Konsep		
	1	2	3
Bentuk Tuas Pemicu (Trigger)			
	<i>Standard Trigger</i>	<i>Industrial Grip Trigger</i>	<i>Industrial Grip Trigger</i>
Sistem Pengaman Aktif			
	<i>Dual Trigger Activation</i>	<i>Locking Safety Pin</i>	<i>Dual Trigger Activation</i>
Desain Pegangan Ergonomis			
	Tidak ada pegangan	<i>Single Straight Handle</i>	<i>T-Handle</i>
Lapisan Pegangan Anti-getar			
	Tidak pakai <i>Rubber Grip</i>	Tidak pakai <i>Rubber Grip</i>	<i>Rubber Grip</i>
Mekanisme Pemicu			
	<i>Standard Trigger Mechanism</i>	<i>Standard Trigger Mechanism</i>	<i>Dual Trigger Pneumatic Mechanism</i>

Setelah memilih opsi untuk setiap masing-masing konsep ditentukan, langkah berikutnya adalah membuat ilustrasi dari setiap konsep produk.

TABEL 5.
Sketsa Desain Konsep

Konsep	Rancangan Desain Dua Dimensi
A	
Penjelasan	Konsep A hanya memiliki satu <i>main handle</i> tanpa pegangan tambahan di belakang. Bentuk pemicu yang digunakan adalah <i>standard trigger</i> tanpa pelapis <i>rubber grip</i> . Sistem Pengaman Aktif berupa <i>dual trigger activation</i> secara mekanis. Dimensi (P x L x T): 51,4 x 14 x 42,6 cm Referensi: Jarvis ANZ – USSS-22A
B	
Penjelasan	Konsep B menghadirkan kombinasi antara <i>main handle</i> dan <i>single straight handle</i> untuk mendukung penggunaan dua tangan. Sistem Pengaman Aktif pada konsep ini menggunakan <i>locking safety pin</i> , yaitu fitur mekanis yang harus digeser terlebih dahulu agar <i>trigger</i> dapat ditekan, memberikan pengaman tambahan secara pasif. Pemicu tetap berbentuk standar dan tidak dilengkapi <i>rubber grip</i> . Dimensi (P x L x T): 57,6 x 14 x 43 cm Referensi: Jarvis ANZ – USSS-22A
C	
Penjelasan	Konsep C merupakan rancangan paling lengkap dengan dua pegangan yaitu <i>main handle</i> dan <i>T-handle</i> ergonomis. Pemicu menggunakan <i>industrial grip trigger</i> yang mengikuti bentuk jari dan dilengkapi sistem <i>dual trigger pneumatic</i> . Seluruh pegangan dilapisi <i>rubber grip</i> untuk meredam hentakan. Dimensi (P x L x T): 90 x 19 x 45 cm Referensi: USSS-21 - Jarvis Products Corporation

D. Concept Selection

Dalam konteks pemilihan konsep desain, proses concept selection dilakukan untuk menilai dan memilih rancangan yang paling sesuai dari berbagai alternatif yang telah dikembangkan.

1. Concept Screening

Proses perbandingan ini menggunakan simbol-simbol tertentu untuk menunjukkan sejauh mana performa masing-masing konsep dibandingkan dengan produk acuan. Simbol positif yaitu “+” menandakan bahwa konsep tersebut lebih baik dibandingkan produk referensi sehingga diberikan skor 1, simbol negatif yaitu “-” menandakan bahwa konsep tersebut lebih buruk dibandingkan produk referensi sehingga diberikan skor -1, dan terakhir simbol nol yaitu “0” menandakan konsep tersebut performanya setara dengan produk referensi.

TABEL 6.
Concept Screening

Selection Criteria	Konsep			Reference
	A	B	C	
Kemudahan Penggunaan	-	0	+	0
Ergonomi	-	-	+	0
Kenyamanan	0	+	+	0
Keamanan	0	+	+	0
Daya Tahan	0	0	0	0
Sum + 's	0	2	4	
Sum 0 's	3	2	1	
Sum - 's	2	1	0	
Net Score	-2	1	4	
Rank	3	2	1	
Continue?	No	Yes	Yes	

2. Concept Scoring

Penilaian dilakukan dengan menganalisis rating yang sesuai untuk tiap kriteria berdasarkan performa masing-masing konsep. Setiap konsep diberikan skor numerik dengan menggunakan skala penilaian dari 1 hingga 5, untuk mencerminkan sejauh mana konsep tersebut memenuhi setiap selection criteria.

TABEL 7.
Concept Scoring

Selection Criteria	Weight	Konsep			
		B		C	
		Rating	Weighted Score	Rating	Weighted Score
Kemudahan Penggunaan	30%	3	0,9	5	1,5
Ergonomi	25%	3	0,75	5	1,25
Kenyamanan	16%	3	0,48	5	0,8
Keamanan	16%	5	0,8	4	0,64
Daya Tahan	13%	4	0,52	4	0,52
Total Score			3,45		4,71
Rank			2		1
Continue?			No		Yes

Berdasarkan perhitungan dengan membandingkan kedua konsep terpilih yaitu antara Konsep B dan Konsep C menggunakan metode concept scoring untuk mendapatkan final konsep terpilih. Hasil menunjukkan bahwa Konsep C menghasilkan total skor tertinggi, yaitu didapatkan sebesar 4.71. Dengan begitu, Konsep C adalah konsep terpilih sebagai usulan perancangan perbaikan desain alat pemingsan sapi.

E. Final Specification

Setelah melewati tahapan *concept generation* dan *concept selection*, Konsep C terpilih sebagai alternatif desain terbaik yang akan dikembangkan lebih lanjut oleh peneliti. Langkah berikutnya adalah menetapkan *final specification* dari alat berdasarkan konsep yang telah dipilih.

TABEL 8.
Final Specification

No	Technical Responses	Final Specification
1	Desain Pegangan Ergonomis	Terdiri dari dua pegangan <i>main handle</i> dan <i>T-handle</i> ergonomis dengan jarak antar pegangan 13,9 cm, untuk meningkatkan kestabilan genggam dua tangan.
2	Karakteristik Material	Material memiliki sifat ringan, tahan korosi, tahan aus, dan mampu menahan benturan, sesuai kebutuhan operasional alat.
3	Mekanisme Pemicu Sederhana	Menggunakan <i>dual trigger pneumatic</i> yang aktif jika kedua pemicu ditekan bersamaan, dilengkapi bentuk tuas pemicu <i>industrial grip trigger</i> untuk kenyamanan jari operator.
4	Jumlah Komponen Fungsional	≤ 10 part utama
5	Tipe Ujung Tembakan	Bentuk <i>Mushroom head</i> jenis <i>Non-Penetrating</i> , dengan ukuran Inlet 6 cm, Outlet 8 cm, Panjang 15,5 cm untuk menghasilkan efek pemingsan tanpa penetrasi ke dalam jaringan otak, menjaga prinsip halal.
6	Lapisan Pegangan Anti-Getar	<i>T-handle</i> dan <i>main handle</i> dilapisi <i>rubber grip</i> dengan ketebalan 2 mm untuk meredam getaran dan meningkatkan kenyamanan genggam.
7	Sistem Pengaman Aktif	Sistem pengaman berupa <i>dual trigger activation</i> yang hanya memungkinkan alat berfungsi jika kedua pemicu ditekan bersamaan.

Berikut adalah visualisasi 3D dari perbaikan desain alat pemingsan sapi, yaitu Pneumatic Stunner, yang telah dikembangkan berdasarkan spesifikasi akhir rancangan. Model ini dirancang menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor.



GAMBAR 11.
Hasil Rancangan Alat *Pneumatic Stunner*

F. Verifikasi

Proses verifikasi dilakukan sebagai langkah sistematis untuk memeriksa kesesuaian antara usulan solusi rancangan alat *Pneumatic Stunner* dengan kebutuhan pengguna, serta untuk memastikan tidak terdapat kesalahan dalam penentuan spesifikasi teknis.

TABEL 9.
Verifikasi Rancangan

No	Technical Responses	Value	Final specification	Kesesuaian
1	Desain Pegangan Ergonomis	Dua titik pegangan : <i>main handle</i> dan pegangan ergonomis	Terdiri dari dua pegangan <i>main handle</i> dan <i>T-handle</i> ergonomis dengan jarak antar pegangan 13,9 cm, untuk meningkatkan kestabilan genggaman dua tangan.	Sesuai
2	Karakteristik Material	Aluminium 6061, Stainless Steel, Carbon Steel	Material memiliki sifat ringan, tahan korosi, tahan aus, dan mampu menahan benturan, sesuai kebutuhan operasional alat.	Sesuai
3	Mekanisme Pemicu Sederhana	<i>Dual Trigger Pneumatic</i>	Menggunakan <i>dual trigger pneumatic</i> yang aktif jika kedua pemicu ditekan	Sesuai

			bersamaan, dilengkapi bentuk tuas pemicu <i>industrial grip trigger</i> untuk kenyamanan jari operator.	
4	Jumlah Komponen Fungsional	≤ 10	≤ 10 part utama	Sesuai
5	Tipe Ujung Tembakan	<i>Non-Penetratif</i>	Bentuk <i>Mushroom head</i> jenis <i>Non-Penetrating</i> , dengan ukuran Inlet 6 cm, Outlet 8 cm, Panjang 15,5 cm untuk menghasilkan efek pemingsanan tanpa penetrasi ke dalam jaringan otak, menjaga prinsip halal.	Sesuai
6	Lapisan Pegangan Anti-Getar	<i>Rubber Grip</i>	<i>T-handle</i> dan <i>main handle</i> dilapisi <i>rubber grip</i> dengan ketebalan 2 mm untuk meredam getaran dan meningkatkan kenyamanan genggaman.	Sesuai
7	Sistem Pengaman Aktif	<i>Dual-Trigger Activation</i>	Sistem pengaman berupa <i>dual trigger activation</i> yang hanya memungkinkan alat berfungsi jika kedua pemicu ditekan bersamaan.	Sesuai

G. Validasi

Pada penelitian ini, proses validasi dilakukan untuk memastikan bahwa rancangan usulan desain alat *Pneumatic Stunner* sesuai dengan kebutuhan pengguna, prinsip ergonomi, serta standar halal dan kesejahteraan hewan. Validasi dilakukan melalui tiga pendekatan, yaitu validasi teknis melalui simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD), validasi umpan balik dari stakeholder, dan validasi perbandingan antara desain alat existing dan desain usulan.

1. Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Pada tugas akhir ini, simulasi CFD digunakan untuk memverifikasi kinerja desain *nozzle* pada alat *pneumatic stunner*, yang menjadi komponen utama dalam memuat udara dan menghasilkan gaya tembak untuk proses pemingsanan sapi, khususnya untuk mengamati distribusi tekanan udara dari saluran masuk ke saluran keluar.



GAMBAR 12.
Nozzle

Tujuan utama simulasi ini adalah memastikan desain *nozzle* mampu mengalirkan udara secara efisien dan menghasilkan daya tembak yang sesuai untuk proses pemingsanan sapi secara halal dan efektif dengan syarat tekanan kerja yaitu di antara 120–150 psi atau sekitar 827–1034 kPa, yang sesuai dengan syarat penggunaan alat pemingsanan secara halal menurut Fatwa MUI No. 12 Tahun 2009 dan standar OIC/SMIIC 1:2019, di mana tekanan yang digunakan untuk stunning tidak boleh menyebabkan kematian sebelum penyembelihan dan bersifat reversibel atau kembali ke keadaan semula.

Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS 2025 R1 Student Edition pada geometri *nozzle* berbentuk silinder. Pengaturan simulasi menggunakan pendekatan *steady-state* dengan model aliran *incompressible*, serta fluida berupa udara kering standar dengan massa jenis (ρ) sebesar 1.225 kg/m^3 dan viskositas sebesar $1.81 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Kecepatan aliran udara masuk (*velocity magnitude*) ditetapkan sebesar 120 m/s. Untuk memperkirakan tekanan dinamis yang dihasilkan oleh kecepatan tersebut, digunakan rumus Bernoulli sebagai berikut:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (\text{I-1})$$

dengan:

P: dynamic pressure (Pa)

ρ : massa jenis fluida (kg/m^3)

v: kecepatan aliran fluida (m/s)

Maka diperoleh perhitungan:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{1}{2} (1225) \times (120)^2 = 8820 \text{ Pa} \quad (\text{I-2})$$

Lalu, Untuk mempermudah interpretasi terhadap tekanan kerja, satuan Pascal (Pa) kemudian dikonversi ke satuan psi (pound per square inch) dengan acuan:

$$1 \text{ psi} = 6,894.76 \text{ Pa} \rightarrow \frac{8,820}{6,894.76} \approx 1.28 \text{ psi} \quad (\text{I-3})$$

Dengan demikian, tekanan dinamis hasil perhitungan Bernoulli pada kecepatan 120 m/s berkisar sekitar 1.28 psi. Nilai ini digunakan sebagai referensi untuk mendukung analisis hasil simulasi CFD dan menggambarkan distribusi tekanan awal akibat kecepatan udara masuk melalui saluran *nozzle*.

Dengan demikian, Validasi ini memperkuat bahwa tekanan kerja sebesar 827–1034 kPa dapat dicapai dengan desain *nozzle* ini, sehingga sesuai dengan spesifikasi final dan syarat pemingsanan halal. Selain itu, memperkuat bahwa spesifikasi diameter dan kecepatan aliran yang digunakan berada dalam rentang yang realistis untuk menghasilkan performa kerja yang diharapkan. Berdasarkan pola distribusi tekanan dan kecepatan dalam simulasi ini, desain *nozzle* mampu mencapai efisiensi tekanan udara yang mendukung kriteria tersebut, walaupun hasil numeriknya dalam simulasi masih perlu dikonversi ke satuan absolut sistemik untuk diverifikasi lebih lanjut secara eksperimen.

- Umpan Balik Stakeholder terhadap Desain Rancangan
Berdasarkan hasil validasi terhadap kedua operator RPH, dapat disimpulkan bahwa rancangan alat *Pneumatic Stunner* dari penulis diterima dengan baik oleh pengguna, karena rancangan dapat memenuhi aspek kenyamanan, keamanan, dan kepraktisan penggunaan. Penyesuaian terhadap ergonomi dan pengoperasian dua tangan dianggap meningkatkan performa dan keselamatan kerja. Rancangan ini dinilai lebih sesuai dengan kebutuhan lapangan dan mampu menjawab berbagai kekurangan pada alat *existing*.
- Perbandingan Desain *Existing* dan Desain Usulan
Perbandingan menunjukkan bahwa desain usulan secara konsisten lebih unggul dalam aspek ergonomi, keamanan, dan standar kesejahteraan hewan tanpa mengurangi efektivitas operasional. Desain usulan memberikan kenyamanan lebih bagi operator, mengurangi risiko cedera akibat hentakan balik, serta meningkatkan kontrol saat penggunaan. Selain itu, bentuk ujung tembakan yang non-penetratif menjadikan alat ini sesuai dengan standar halal dan prinsip kesejahteraan hewan. Dengan demikian, validasi membuktikan bahwa rancangan bukan mampu memberikan solusi nyata terhadap masalah yang dihadapi operator dan sesuai dengan kebutuhan RPH Ciroyom Depot.

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang usulan perbaikan desain alat *Pneumatic Stunner* di RPH Ciroyom Depot agar lebih ergonomis dan sesuai dengan prinsip halal, melalui pendekatan *Quality Function Deployment* (QFD).

1. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara operator, diketahui bahwa alat *existing* menimbulkan hentakan balik (*recoil*) kuat yang berisiko menyebabkan nyeri pada tangan dan bahu. Pendekatan QFD berhasil mengidentifikasi tujuh *need statements* utama dari pengguna. Tiga atribut teknis dengan nilai *absolute importance* tertinggi adalah: Desain Pegangan Ergonomis, Lapisan Pegangan Anti-Getar, dan mekanisme pemicu sederhana. Proses *concept generation* dan *concept selection* menghasilkan konsep terpilih yang terdiri dari: pegangan ergonomis model *T-handle*, *trigger* berbentuk *industrial grip trigger*, mekanisme pemicu sederhana berupa *dual-trigger pneumatic*, Lapisan Pegangan Anti-Getar *rubber grip*, dan Sistem Pengaman Aktif berupa *dual-trigger activation*.
2. Validasi terhadap rancangan dilakukan melalui wawancara pengguna dan perbandingan desain *existing* dengan desain baru, serta simulasi tekanan udara menggunakan metode CFD. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tekanan udara berada dalam kisaran yang sesuai dengan prinsip halal (120–150 psi), dan desain *nozzle* memungkinkan aliran udara optimal tanpa mengganggu prinsip *reversible stunning*. Rancangan desain telah disesuaikan dengan standar teknis dan regulasi seperti ISO 12100:2010, ISO 13849-1:2015, serta Fatwa MUI No. 12 Tahun 2009 dan pedoman kesejahteraan hewan dari OIE. Hal ini membuktikan bahwa rancangan tepat guna, dan juga layak secara teknis dan syar'i.

B. Saran

Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan pembuatan prototipe alat secara fisik guna menguji performa dan kenyamanan secara langsung di lapangan. Evaluasi ergonomi dapat diperkuat dengan pendekatan kuantitatif seperti metode RULA atau REBA agar diperoleh data objektif terkait risiko cedera operator. Validasi desain juga sebaiknya melibatkan pemangku kepentingan lain seperti dokter hewan, auditor halal, dan teknisi RPH. Selain itu, penelitian lanjutan dapat

mengeksplorasi integrasi sistem otomatisasi dan sensor, seperti pengaturan tekanan otomatis atau fitur pengaman pintar. Terakhir, diperlukan analisis ekonomi untuk menilai kelayakan produksi dan distribusi alat di berbagai RPH, khususnya yang berskala kecil dan menengah.

REFERENSI

- [1] Ulrich, K. T., Eppinger, S. D., & Yang, M. C. (2020). *Product design and development* (7th ed.). McGraw-Hill Education.
- [2] Ficalora, J. P., & Cohen, L. (2010). *Quality Function Deployment and Six Sigma: A QFD Handbook*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- [3] Kementerian Pertanian. (2010). Peraturan Menteri Pertanian Nomor 13/PERMENTAN/OT.140/1/2010 tentang Persyaratan Rumah Potong Hewan Ruminansia dan Unit Penanganan Daging. Jakarta: Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- [4] Blazek, J. (2005). *Computational fluid dynamics: Principles and applications*. Elsevier.
- [5] International Organization for Standardization. (2010). ISO 12100:2010 – Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction.
- [6] International Organization for Standardization. (2015). ISO 13849-1:2015 – Safety of machinery – Safety-related parts of control systems – Part 1: General principles for design.
- [7] Djalal Rosyidi, & Eko Saputro. (2022). *Stunning in halal animal slaughter*. UB Press.
- [8] Standard and Metrology Institute for Islamic Countries (SMIIC). (2019). *General Requirements for Halal Food* (OIC/SMIIC 1:2019).
- [9] United States Department of Agriculture (USDA). (1958). *Humane Methods of Slaughter Act*. Title 7 U.S. Code § 1901–1907.
- [10] Atkinson, S. (2016). *Assessment of Cattle and Pig Welfare at Stunning in Commercial Abattoirs* (Doctoral dissertation). Swedish University of Agricultural Sciences.
- [11] OIE (World Organisation for Animal Health).