

PENGEMBANGAN *PHANTOM* AGAR SEBAGAI MODEL MARBLING PADA DAGING DENGAN VARIASI KONSENTRASI GULA BERTINGKAT

AMANDA SYAFIRA SIREGAR



**PROGRAM STUDI SARJANA KEDOKTERAN HEWAN
SEKOLAH KEDOKTERAN HEWAN DAN BIOMEDIS
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Pengembangan *Phantom* Agar sebagai Model *Marbling* pada Daging dengan Variasi Konsentrasi Gula Bertingkat” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2026

Amanda Syafira Siregar
B0401221117



ABSTRAK

AMANDA SYAFIRA SIREGAR. Pengembangan *Phantom* Agar sebagai Model *Marbling* pada Daging dengan Variasi Konsentrasi Gula Bertingkat. Dibimbing oleh MOKHAMAD FAKHRUL ULUM dan DANANG DWI CAHYADI.

Marbling merupakan parameter penentu kualitas daging yang dinilai secara visual, kualitatif, dan cenderung subjektif. Pencitraan ultrasonografi, radiografi, dan tomografi impedansi listrik (TIL) merupakan teknologi yang berpotensi untuk memprediksi parameter tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan serta mengevaluasi *phantom* agar sebagai media simulasi dan mencitrakan *marbling* pada potongan daging komersial melalui ultrasonografi, radiografi, dan TIL. Terdapat empat variasi *phantom* agar, yaitu kontrol (K) dan perlakuan (P) yang disimpan pada suhu ruang (Rg) serta *refrigerator* (Rf). *Phantom* agar perlakuan berisi bagian agar yang mengandung gula jenuh, gula tidak jenuh, dan akuades sebagai model simulasi lemak. Durabilitas, ekogenisitas, opasitas, serta resistivitas *phantom* agar diukur selama 30 hari dan 1 hari untuk daging mata rusuk dan has luar sapi, serta mata rusuk kerbau. Ekogenisitas dan opasitas dianalisis menggunakan *software ImageJ*, sedangkan resistivitas diiterasi menggunakan *software Res2dinv*. Hasil menunjukkan *phantom* KRf memiliki daya tahan tertinggi dengan nilai sineresis terendah dibanding *phantom* PRg. *Phantom* Rg memiliki ekogenisitas yang lebih tinggi daripada Rf, namun pada opasitas terjadi sebaliknya. Nilai ekogenisitas dan opasitas tertinggi terdapat pada *phantom* dengan konsentrasi gula jenuh. Citra ultrasonografi menunjukkan ekogenisitas keseluruhan *phantom* agar adalah hipoeoik, sedangkan pada daging, mata rusuk sapi (MRS) memiliki ekogenisitas paling tinggi dibanding has luar sapi (HSL) dan mata rusuk kerbau (MRK). Citra radiografi menunjukkan nilai opasitas pada keempat *phantom* agar dan ketiga daging adalah abu-abu. Citra TIL menunjukkan resistivitas homogen pada seluruh *phantom* agar, sedangkan pada daging, MRK memiliki resistivitas paling tinggi dibanding MRS dan HLS. Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang baik pada penilaian ekogenisitas dan resistivitas daging vs *phantom* agar, kecuali pada MRK vs *phantom* agar di kedua suhu, sedangkan nilai opasitas daging vs *phantom* agar rata-rata tidak memiliki hubungan yang baik. Teknik ultrasonografi, radiografi, dan TIL efektif untuk menilai simulasi *marbling* pada *phantom* agar dan memprediksi secara kuantitatif pada *marbling* daging.

Kata kunci: daging, *marbling*, *phantom* agar, radiografi, tomografi impedansi listrik, ultrasonografi



ABSTRACT

AMANDA SYAFIRA SIREGAR. Development of a Phantom Agar Model for Marbling in Meat Using Gradual Variations in Sugar Concentration. Supervised by MOKHAMAD FAKHRUL ULUM and DANANG DWI CAHYADI.

Marbling is a key parameter for assessing meat quality that is evaluated visually, qualitatively, and tends to be subjective. Ultrasonography, radiography, and electrical impedance tomography (EIT) are technologies with the potential to predict this parameter. The purpose of this study is to develop and evaluate a phantom to serve as a simulation tool and to visualize marbling in commercial meat cuts using ultrasound, radiography, and EIT. There were four variations of agar phantoms: control (K) and treatment (P) groups at room temperature (Rg) and in the refrigerator (Rf), where the treatment groups consisted of agar with saturated sugar, unsaturated sugar, and distilled water as a model for simulating fat. The durability, echogenicity, opacity, and resistivity of the phantom agar were measured over a 30-day period and on a single day for beef rib eye, beef sirloin, and buffalo rib eye. Echogenicity and opacity were analyzed using ImageJ software, while resistivity was analyzed using Res2dinv software. The results show that the Rf phantom had the highest durability and the lowest syneresis value compared to the Rg phantom. The Rg phantom had higher echogenicity than the Rf phantom. Conversely, the Rg phantom had lower opacity than the Rf phantom. The saturated sugar concentration in the P phantom had the highest echogenicity and opacity. Among meats, beef rib eye had the highest echogenicity, followed by beef sirloin and buffalo rib eye. Radiographic images revealed gray-scale opacity for all phantoms and meat samples. EIT images indicated homogeneous resistivity across all phantoms. For meat samples, buffalo rib eye showed the highest resistivity, surpassing both beef rib eye and beef sirloin. Regression analysis results indicated a strong correlation between echogenicity and resistivity scores for meat vs agar phantoms, except for buffalo rib eye at vs agar phantom in both temperatures, while the average opacity scores for meat vs agar phantoms did not show a strong correlation. Ultrasonography, radiography, and TIL are effective techniques for evaluating simulated marbling in agar phantoms and quantitatively predicting marbling in meat.

Keywords: agar phantom, electrical impedance tomography, marbling, meat, radiography, ultrasonography



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

**PENGEMBANGAN *PHANTOM* AGAR SEBAGAI MODEL
MARBLING PADA DAGING DENGAN VARIASI
KONSENTRASI GULA BERTINGKAT**

AMANDA SYAFIRA SIREGAR

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Kedokteran Hewan pada
Sekolah Kedokteran Hewan dan Biomedis

**PROGRAM STUDI SARJANA KEDOKTERAN HEWAN
SEKOLAH KEDOKTERAN HEWAN DAN BIOMEDIS
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

1. Dr. drh. Damiana Rita Ekastuti, M.S
2. Dr. drh. Ni Luh Putu Ika Mayasari



Judul Skripsi : Pengembangan *Phantom* Agar Sebagai Model *Marbling* pada Daging dengan Variasi Konsentrasi Gula Bertingkat

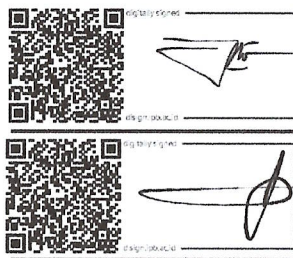
Nama : Amanda Syafira Siregar
NIM : B0401221117

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
drh. Mokhamad Fakhrul Ulum, M.Si., Ph.D

Pembimbing 2:
drh. Danang Dwi Cahyadi, M.Si., Ph.D



Diketahui oleh

Ketua Program Studi Sarjana Kedokteran Hewan:
Dr. drh. Wahono Esthi Prasetyaningtyas, M.Si.
NIP 198006182006042026

Wakil Dekan Bidang Akademik, Kemahasiswaan dan Alumni Sekolah Kedokteran Hewan dan Biomedis:
Prof. drh. Ni Wayan Kurniani Karja, MP, Ph.D
NIP 196902071996012001



Tanggal Ujian:
21 Juli 2026

Tanggal Lulus: 03 AUG 2026



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari sampai bulan April 2026 ini ialah untuk mengembangkan serta mengevaluasi *phantom* agar sebagai media simulasi dan mencitrakan *marbling* pada potongan daging komersial melalui ultrasonografi, radiografi, dan tomografi impedansi listrik, dengan judul “Pengembangan *Phantom* Agar sebagai Model *Marbling* pada Daging dengan Variasi Konsentrasi Gula Bertingkat”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, drh. Mokhamad Fakhrol Ulum, M.Si., Ph.D dan drh. Danang Dwi Cahyadi, M.Si., Ph.D yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pembimbing akademik, moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga besar saya dan teman-teman Areion 59 yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya sehingga penyusunan skripsi ini dapat berjalan dengan lancar.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Amanda Syafira Siregar



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 <i>Phantom</i> Agar	3
2.2 Daging	3
2.3 <i>Marbling</i>	4
2.4 Ultrasonografi	5
2.5 Radiografi	6
2.6 Tomografi Impedansi Listrik	7
III METODE	8
3.1 Waktu dan Tempat	8
3.2 Alat dan Bahan	8
3.3 Prosedur Kerja	8
3.4 Analisis Data	11
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	12
4.1 Hasil	12
4.2 Pembahasan	22
V SIMPULAN DAN SARAN	27
5.1 Simpulan	27
5.2 Saran	27
DAFTAR PUSTAKA	28
LAMPIRAN	33
RIWAYAT HIDUP	49

DAFTAR TABEL

1	Komposisi formulasi bahan agar sebagai bahan dasar <i>phantom</i> agar	8
2	Berat dan persentase sineresis <i>phantom</i> kontrol dan perlakuan yang disimpan selama 30 hari	12
3	Pengukuran ekogensitas <i>phantom</i> agar selama 30 hari	14
4	Pengukuran opasitas <i>phantom</i> agar selama 30 hari	15
5	Pengukuran resistivitas <i>phantom</i> agar selama 30 hari	18
6	Pengukuran ekogenisitas, opasitas, dan resistivitas potongan daging komersial	18
7	Hasil analisis regresi hubungan <i>phantom</i> agar dan <i>marbling</i> daging berdasarkan nilai ekogenisitas, opasitas dan resistivitas	20

DAFTAR GAMBAR

1	<i>Phantom</i> agar sebagai media simulasi pembelajaran	3
2	Bagian-bagian pada daging sapi dan kerbau	4
3	Perbandingan tingkat <i>marbling</i> pada daging	5
4	Pemeriksaan ultrasonografi pada sapi di bagian <i>longissimus thoracis et lumborum</i>	6
5	Pencitraan tomografi impedansi listrik pada potongan komersial daging sapi	7
6	Ilustrasi <i>phantom</i> agar dalam kontrol dan perlakuan	9
7	Pengambilan citra dengan ultrasonografi	10
8	Pengambilan citra dengan radiografi pada <i>phantom</i> agar dan daging	10
9	Pengambilan citra dengan tomografi impedansi listrik	11
10	Visual tampak <i>phantom</i> agar selama penyimpanan 30 hari dengan dan tanpa variasi gula konsentrasi bertingkat	12
11	Berat <i>phantom</i> agar yang disimpan pada suhu ruang dan suhu <i>refrigerator</i> selama 30 hari	13
12	Hasil pencitraan ultrasonografi pada <i>phantom</i> agar selama 30 hari dengan dan tanpa variasi gula konsentrasi bertingkat	13
13	Hasil pencitraan <i>radiografi</i> pada <i>phantom</i> agar selama 30 hari dengan dan tanpa variasi gula konsentrasi bertingkat	15
14	Hasil pencitraan tomografi impedansi listrik pada <i>phantom</i> agar hari ke-0 pada suhu penyimpanan berbeda	16
15	Hasil pencitraan tomografi impedansi listrik pada <i>phantom</i> agar hari ke-7 pada suhu penyimpanan berbeda	17
16	Hasil pencitraan tomografi impedansi listrik pada <i>phantom</i> agar hari ke-14 pada suhu penyimpanan berbeda	17
17	Hasil pencitraan tomografi impedansi listrik pada <i>phantom</i> agar hari ke-21 pada suhu penyimpanan berbeda	18
18	Hasil pencitraan tomografi impedansi listrik pada <i>phantom</i> agar hari ke-30 pada suhu penyimpanan berbeda	18

19	Perbandingan ekogenisitas, opasitas, dan resistivitas pada potongan daging	19
20	Hubungan <i>marbling</i> daging dengan <i>phantom</i> P(Rg) dan P(Rf) berdasarkan nilai ekogenisitas	20
21	Hubungan <i>marbling</i> daging dengan <i>phantom</i> P(Rg) dan P(Rf) berdasarkan nilai opasitas	21
22	Hubungan <i>marbling</i> daging dengan <i>phantom</i> P(Rg) dan P(Rf) berdasarkan nilai resistivitas	21

DAFTAR LAMPIRAN

1	Hasil sonogram <i>phantom</i> agar dan daging	33
2	Hasil radiograf <i>phantom</i> agar dan daging	36
3	Data hasil pengukuran resistivitas <i>phantom</i> agar dan daging	37
4	Hasil inversi <i>Res2DInv</i> pada <i>phantom</i> agar dan daging	41
5	Skrip <i>Notepad</i> untuk <i>Res2DInv</i> pada <i>phantom</i> agar dan daging	47