UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pencitraan Fotoakustik Berbasis Agen Kontras Carbon Dots (CDs) Daun Sirsak (Annona muricata L.):
Aplikasi pada Pemindaian Kelenjar Saliva
Buky Wahyu Pratama, Prof. Dr. Mitrayana, S.Si., M.Si. ; Dr. drg. Rini Widyaningrum, M.Biotech., Sp.RKG ; Dr. Andre
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

DISERTASI i
DISERTASI ii
HALAMAN PENGESAHAN iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iv
HALAMAN MOTO DAN PERSEMBAHAN v
PRAKATA vi
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR TABEL xv
DAFTAR LAMPIRAN xvi
DAFTAR SINGKATAN xvii
INTISARI xviii
ABSTRACT xx
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 9
1.3 Tujuan Penelitian 9
1.4 Batasan Masalah 10
1.4.1 Batasan Teknis 10
1.4.2 Batasan Metodologi 10
1.4.3 Batasan Konseptual 11
1.5 Manfaat Penelitian 11
1.6 Sistematika Penelitian 11
1.7 Hipotesis 12
1.8 Kebaharuan 13
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 12
2.1 Sintesis, Karakterisasi, dan Aplikasi CDs 12
2.2 Ekstrak Daun Sirsak dan Aplikasinya 17
2.3 Pencitraan Kelenjar Saliva 18
2.4 Perbandingan Kelenjar Saliva Manusia dan Hewan Coba 22
2.5 Agen Kontras dalam Pencitraan Medis 24
2.6 Pencitraan Fotoakustik 25
BAB III LANDASAN TEORI 29
3.1 Efek Fotoakustik 29
3.2 Koefisien Serapan Optik 31

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pencitraan Fotoakustik Berbasis Agen Kontras Carbon Dots (CDs) Daun Sirsak (Annona muricata L.):
Aplikasi pada Pemindaian Kelenjar Saliva
Buky Wahyu Pratama, Prof. Dr. Mitrayana, S.Si., M.Si. ; Dr. drg. Rini Widyaningrum, M.Biotech., Sp.RKG ; Dr. Andre
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.3 Intensitas Bunyi dan Taraf Intensitas Bunyi 32
3.4 Laser Dioda 33
3.5 Transduser 35
3.6 *Fast Fourier Transform* (FFT) dan *Power Spectral Density* (PSD) 37
3.7 Arduino 38
3.8 Perangkat Lunak LabView 40
3.9 Perangkat Lunak Python dan Anaconda 40
3.10 Mencit BALB/c 41
3.11 Agen Kontras 42
3.12 Carbon Dots 43
3.13 Daun Sirsak 45
3.14 Spektroskopi UV-Vis 46
3.15 Spektroskopi FTIR 47
3.16 Spektroskopi Fluoresensi 48
3.17 *Transmission Electron Microscopy* (TEM) 50
3.18 *Particle Size Analyzer* (PSA) 50

BAB IV METODE PENELITIAN 52

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian 52
4.2 Alat dan Bahan 52
4.3 Sampel Penelitian 53
4.4 Kualitas Citra 54
4.5 Skema Penelitian 54
4.6 Tahapan Penelitian 55
4.6.1 Fase Permohonan *Ethical Clearance* 55
4.6.2 Fase Sintesis dan Karakterisasi Agen Kontras Berbasis CDs Daun Sirsak 55
4.6.3 Sistem Pencitraan Fotoakustik 59
4.6.4 Pengenalan Perangkat Lunak yang Digunakan dalam Mengoperasikan Sistem Pencitraan Fotoakustik 62
4.6.5 Pengenalan Perangkat Lunak / Program yang Digunakan dalam Mengolah Data Excel dari Sistem Pencitraan Fotoakustik 64
4.6.6 Pengenalan Koding Penentuan Rerata Intensitas Sampel 66
4.6.7 Fase Uji Agen Kontras Berbasis CDs Daun Sirsak pada *Phantom* Agar-Agar Menggunakan Sistem Pencitraan Fotoakustik 67
4.6.8 Fase Injeksi Agen Kontras, Terminasi, dan Preparasi Sampel Kelenjar Saliva 68
4.6.9 Analisis Statistik Data 69

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 71

5.1 CDs Daun Sirsak 71
5.1.1 Sintesis CDs 71
5.1.2 Karakterisasi CDs 72
5.1.3 Pembahasan Hasil Karakterisasi CDs 77
5.2 Hewan Coba 83
5.2.1 Pemodelan Kelenjar Saliva pada Hewan Coba 83

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pencitraan Fotoakustik Berbasis Agen Kontras Carbon Dots (CDs) Daun Sirsak (Annona muricata L.):
Aplikasi pada Pemindaian Kelenjar Saliva**
Buky Wahyu Pratama, Prof. Dr. Mitrayana, S.Si., M.Si. ; Dr. drg. Rini Widyaningrum, M.Biotech., Sp.RKG ; Dr. Andre
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.2.2 Pembahasan Kelenjar Saliva 84
5.3 Komponen Sistem Pencitraan Fotoakustik 86
5.3.1 Karakterisasi Mikrofon 86
5.3.2 Karakterisasi Laser 87
5.3.3 Karakterisasi *Motor-Stepper* 88
5.3.4 Pembahasan Karakterisasi Mikrofon, Laser, dan *Motor Stepper* 89
5.4 Sampel *Phantom* dan Kelenjar Saliva pada Pencitraan Fotoakustik 91
5.4.1 Karakterisasi Frekuensi pada sampel agar-agar dan daging 91
5.4.2 Pembahasan Respon Frekuensi pada Sampel *Phantom* dan Kelenjar Saliva 96
5.4.3 Pengolahan data mentah menjadi data citra dan perhitungan rerata intensitas akustik 104
5.4.4 Pencitraan *Phantom* Agar-agar 105
5.4.5 Pencitraan pada Jaringan Biologis Hewan Coba Secara *Ex Vivo* (Daging dan Kelenjar Saliva) 109
5.4.6 Pembahasan Pencitraan Fotoakustik *Phantom* dan Kelenjar Saliva 111
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 119
6.1 Kesimpulan 119
6.2 Saran 120
DAFTAR PUSTAKA 122
LAMPIRAN 138

Pencitraan Fotoakustik Berbasis Agen Kontras Carbon Dots (CDs) Daun Sirsak (Annona muricata L.):
Aplikasi pada Pemindaian Kelenjar Saliva
Buky Wahyu Pratama, Prof. Dr. Mitrayana, S.Si., M.Si. ; Dr. drg. Rini Widyaningrum, M.Biotech., Sp.RKG ; Dr. Andre
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a) Penggolongan CDs berdasarkan strukturnya. (b) metode sintesis CDs (Cui dkk., 2021). 13
Gambar 2.2 Struktur kelenjar pada manusia dan tikus. (a) Kelenjar parotis, (b) Kelenjar sublingual, dan (c) Kelenjar submandibular (Maruyama dkk., 2019). 23
Gambar 3.1 Proses terjadinya fotoakustik. 30
Gambar 3.2 Struktur laser dioda berbasis sambungan PN (https://wanda.fiu.edu/boeglinw/courses/Modern_lab_manual3/pn_junction.html). 34
Gambar 3.3 Kedalaman penetrasi laser berdasarkan panjang gelombangnya (Chen dkk., 2021). 35
Gambar 3.4 Stuktur mikrofon kondenser dan dinamik (https://electronics.stackexchange.com/questions/122229/do-smartphones-and-tablets-generally-use-dynamic-or-condenser-electret-mics). 37
Gambar 3.5 (a) Arduino Nano, (b) Mega, dan (c) Uno (https://www.pngwing.com/id/search?q=arduino). 39
Gambar 3.6 Struktur CDs. 44
Gambar 3.7 Daun dan buah sirsak (https://rri.co.id/kesehatan/1517743/buah-sirsak-dan-daun-sirsak-kaya-kesehatan). 46
Gambar 3.8 Sinar melewati kuvet pada fenomena Lambert-Beer. 47
Gambar 3.9 Peristiwa getaran molekul pada spektroskopi FTIR (https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/infrared-and-raman/ft-ir-routine-spectrometer/what-is-ft-ir-spectroscopy.html). 48
Gambar 3.10 Instrumentasi PSA. (https://www.shimadzu.com.sg/an/service-support/technical-support/analysis-basics/lesson22.html) 51
Gambar 4.1 Skema umum tahapan penelitian. 55
Gambar 4.2 Skema sintesis CDs berbasis daun sirsak. 57
Gambar 4.3 Sistem pencitraan fotoakustik. 59
Gambar 4.4 Karakterisasi mikrofon, laser, motor *stepper*, dan pengaturan fotoakustik untuk agen kontras. 61
Gambar 4.5 Tampilan (a) penuh perangkat lunak pengoperasian sistem pencitraan fotoakustik (bagian mikrofon), (b) perbesaran kontrol utama laser, (c) perbesaran kontrol pada mikrofon, dan (d) sinyal yang didapatkan dan dirubah dalam spektrum FFT. 63
Gambar 4.6 Tampilan (a) penuh perangkat lunak pengoperasian sistem pencitraan fotoakustik (bagian pemindaian pencitraan), (b) perbesaran pengaturan dimensi dari pemindaian, dan (c) perbesaran hasil pencitraan yang ditampilkan secara real time. 65
Gambar 4.7 (a) Perangkat lunak ERRP berbasis python, (b) perbesaran tombol pada ERRP. 66
Gambar 4.8 Tempat sampel CDs. 68

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pencitraan Fotoakustik Berbasis Agen Kontras Carbon Dots (CDs) Daun Sirsak (Annona muricata L.):
Aplikasi pada Pemindaian Kelenjar Saliva
Buky Wahyu Pratama, Prof. Dr. Mitrayana, S.Si., M.Si. ; Dr. drg. Rini Widyaningrum, M.Biotech., Sp.RKG ; Dr. Andre
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.1 CDs dari daun sirsak yang terlarut dalam aquades dengan variasi suhu sintesis (H50 merupakan CDs disintesis pada suhu 50 ^{o}C, (angka menunjukkan suhu sintesis)). 72
Gambar 5.2 Spektrum absorbansi UV-Vis dari CDs. 73
Gambar 5.3 Spektrum IR Transmitansi dari CDs (a) 4000 – 400 cm^{-1},(b) 3000 – 3600 cm^{-1}, (c) 1700 – 1500 cm^{-1}, (d) 2800 –1800 cm^{-1}. 73
Gambar 5.4 Fluoresensi sampel (a) H50, (b) H90, (c) H110, dan (d) H150. 74
Gambar 5.5 Distribusi partikel sampel (a) H50, (b) H90, (c) H110, dan (d) H150. 75
Gambar 5.6 (a) Hasil pengujian TEM sampel H150, (b) pengujian TEM yang menunjukkan jarak antar atom. 76
Gambar 5.7 Hasil analisis EDX dari sampel H150. 76
Gambar 5.8 Spektrum Absorbansi jaringan biologis pada panjang gelombang 400 – 1000 nm (Kosaka dkk., 2009). 79
Gambar 5.9 (a) Mencit BALB/C Jantan usia 3 bulan, (b) Mencit didalam kandang untuk pengkondisian, (c) Injeksi CDs kedalam mencit melalui ekor, (d) Proses eutanasi mencit, (e) Proses pembedahan untuk mendapatkan kelenjar saliva hewan coba, dan (f) Kelenjar saliva hewan coba. 85
Gambar 5.10 Respon frekuensi mikrofon terhadap perubahan frekuensi pada AFG. 86
Gambar 5.11 Respon daya laser terhadap (a) variasi *duty cycle* pada setiap frekuensi modulasi, dan (b) durasi hidup pada DC 20, 30, 40 % dengan frekuensi 9 KHz. 87
Gambar 5.12 Respon jarak dua titik terhadap variasi nilai masukan motor *stepper-X* dan *stepper-Y*. 89
Gambar 5.13 Respon aplitudo terhadap variasi frekuensi modulasi pada tanpa sampel, agar-agar, dan kelenjar saliva (a) data mentah (*Raw*), (b) hasil pengolahan dBfs. 92
Gambar 5.14 Respon aplitudo terhadap variasi frekuensi modulasi pada agar-agar tanpa agen kontras dan penambahan agen kontras pada (a) frekuensi 5000 - 20000 Hz, (b) frekuensi 8000 - 16000 Hz. 94
Gambar 5.15 Nilai rerata hasil pengujian dua reviewer terhadap kualitas kontras dan bentuk pencitraan agar-agar. 95
Gambar 5.16 Respon aplitudo terhadap variasi frekuensi modulasi pada kelenjar saliva tanpa agen kontras dan penambahan agen kontras 0.1 dengan durasi 15 menit dan 60 menit pada (a) frekuensi 5000–20000 Hz, dan (b) frekuensi 8000– 16000 Hz. 98
Gambar 5.17 Respon aplitudo terhadap variasi frekuensi modulasi pada kelenjar saliva tanpa agen kontras dan penambahan agen kontras 0.3 dengan durasi 15 menit dan 60 menit pada (a) frekuensi 5000–20000 Hz, dan (b) frekuensi 8000–16000 Hz. 99
Gambar 5.18 Respon aplitudo terhadap variasi frekuensi modulasi pada kelenjar saliva tanpa agen kontras dan penambahan agen kontras 0.1 dan 0.3 ml dengan durasi 15 menit pada (a) frekuensi 5000–20000 Hz, dan (b) frekuensi 8000–16000 Hz. 100

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pencitraan Fotoakustik Berbasis Agen Kontras Carbon Dots (CDs) Daun Sirsak (Annona muricata L.):
Aplikasi pada Pemindaian Kelenjar Saliva**
Buky Wahyu Pratama, Prof. Dr. Mitrayana, S.Si., M.Si. ; Dr. drg. Rini Widyaningrum, M.Biotech., Sp.RKG ; Dr. Andre
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.19 Respon aplitudo terhadap variasi frekuensi modulasi pada kelenjar saliva tanpa agen kontras dan penambahan agen kontras 0.1 dan 0.3 ml dengan durasi 60 menit pada (a) frekuensi 5000–20000 Hz, dan (b) frekuensi 8000–16000 Hz. 101
Gambar 5.20 Hasil pencitraan fotoakustik agar-agar (a) sebelum *shifting*, (b) setelah *shifting*, (c) setelah *denoising*, dan (d) setelah deteksi tepi..... 105

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pencitraan Fotoakustik Berbasis Agen Kontras Carbon Dots (CDs) Daun Sirsak (Annona muricata L.):
Aplikasi pada Pemindaian Kelenjar Saliva**
Buky Wahyu Pratama, Prof. Dr. Mitrayana, S.Si., M.Si. ; Dr. drg. Rini Widyaningrum, M.Biotech., Sp.RKG ; Dr. Andre
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Perbandingan Arduino Nano, Uno, dan Mega. 39
Tabel 3.2 Kelebihan dan kekurangan dari agen kontras. 43
Tabel 4.1 Variabel bebas dan jumlah hewan coba. 54
Tabel 4.2 Penilaian kualitas citra fotoakustik..... 54
Tabel 4.3 Daftar komponen sistem pencitraan fotoakustik. 59
Tabel 5.1 Data fluoresensi CDs. 74
Tabel 5.2 Koefisien regresi linearitas frekuensi mikrofon. 86
Tabel 5.3 Koefisien regresi linearitas *duty cycle* terhadap daya keluaran laser pada variasi frekuensi modulasi. 88
Tabel 5.4 Hasil pencitraan fotoakustik agar-agar sebelum dan sesudah *shifting*, setelah *denoising*, serta nilai rerata intensitas akustik. 106
Tabel 5.5 Perbandingan SNR dan PSNR dari hasil pencitraan fotoakustik agar-agar *shifting* dan *denoising*. 107
Tabel 5.6 Hasil perbandingan SNR dan PSNR pada citra hasil *denoising* untuk sampel dengan variasi konsentrasi CDs. 107
Tabel 5.7 Hasil pengujian histogram pencitraan agar-agar. 108
Tabel 5.8 Hasil pencitraan fotoakustik daging kecil sebelum dan sesudah *shifting*, setelah *denoising*, serta nilai rerata intensitas akustik. 109
Tabel 5.9 Perbandingan SNR dan PSNR dari hasil pencitraan fotoakustik daging kecil *shifting* dan *denoising*. 109
Tabel 5.10 Hasil pengujian histogram pencitraan daging kecil. 110
Tabel 5.11 Hasil pencitraan fotoakustik kelenjar saliva sebelum dan sesudah *shifting*, setelah *denoising*, serta nilai rerata intensitas akustik. 111
Tabel 5.12 Hasil pengujian histogram pencitraan kelenjar saliva. 113

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pencitraan Fotoakustik Berbasis Agen Kontras Carbon Dots (CDs) Daun Sirsak (Annona muricata L.):
Aplikasi pada Pemindaian Kelenjar Saliva**
Buky Wahyu Pratama, Prof. Dr. Mitrayana, S.Si., M.Si. ; Dr. drg. Rini Widyaningrum, M.Biotech., Sp.RKG ; Dr. Andre
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR LAMPIRAN

Dokumen *Ethical Clearance* (EC) 138
Data Karakterisasi Mikrofon.....139
Data Karakterisasi Laser 808 nm 139
Data Karakterisasi Motor Stepper.....143
Data Sheet Mikrofon 144

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pencitraan Fotoakustik Berbasis Agen Kontras Carbon Dots (CDs) Daun Sirsak (Annona muricata L.):
Aplikasi pada Pemindaian Kelenjar Saliva**
Buky Wahyu Pratama, Prof. Dr. Mitrayana, S.Si., M.Si. ; Dr. drg. Rini Widyaningrum, M.Biotech., Sp.RKG ; Dr. Andre
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR SINGKATAN

CDs	.....	*Carbon Dots*
USG	.....	*Ultrasonography*
CT	.....	*Computed Tomography*
MRI	.....	*Magnetic Resonance Imaging*
NIR	.....	*Near-Infrared*
UV-Vis	.....	*Ultraviolet–Visible*
FTIR	.....	*Fourier Transform Infrared*
PL	.....	*Photoluminescence*
TEM	.....	*Transmission Electron Microscope*
EDX	.....	*Energy Disperse X-Ray*
PSA	.....	*Particle Size Analyzer*
SWCNT	.....	*Single-Walled Carbon Nanotube*
GQDs	.....	*Graphene Quantum Dots*
CNDs	.....	*Carbon Nanodots*
CPDs	.....	*Carbonized Polimeric Dots*
SNR	.....	*Signal-to-Noise Ratio*
DWI	.....	*Diffusion-Weighted Imaging*
DCE	.....	*Dynamic Contrast-Enhanced*
CBCT	.....	*Cone-Beam Computed Tomography*
MR	.....	*Magnetic Resonance*
PAI	.....	*Photoacoustic Imaging*
ICG	.....	*Indocyanine Green*
FFT	.....	*Fast Fourier Transform*
PSD	.....	*Power Spectral Density*
DFT	.....	*Discrete Fourier Transform*
CFT	.....	*Continuous Fourier Transform*
IDE	.....	*Integrated Development Environment*
GUI	.....	*Graphic User Interface*
ML	.....	*Machine Learning*
AI	.....	*Artificial Intelegence*
ERPP	.....	*Excel Raw Plotter PAI*
dB	.....	*Decibel*
dBfs	.....	*Decibel Full Scale*
a.u	.....	*Arbitary Unit*
PWM	.....	*Pulse Width Modulation*
PSNR	.....	*Peak Signal-to-Noise Ratio*
RMSE	.....	*Root Mean Square Error*
MAE	.....	*Mean Absolute Error*
CV	.....	*Coefficient of Variation*
EPR	.....	*Enhanced Permeability and Retention*