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/

INTISARI

Pencitraan Fotoakustik Berbasis Agen Kontras *Carbon Dots* (CDs) Daun Sirsak (*Annona Muricata L.*): Aplikasi pada Pemindaian Kelenjar Saliva

Oleh
Buky Wahyu Pratama
23/524561/SPA/00954

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh keterbatasan kontras intrinsik jaringan biologis pada sistem *Photoacoustic Imaging* (PAI), sehingga diperlukan pengembangan agen kontras optik yang mampu meningkatkan kontras sinyal antara jaringan target dan latar. Salah satu kandidat yang potensial adalah Carbon Dots (CDs) yang memiliki sifat optik dan termal yang baik, berukuran nano, bersifat biokompatibel, serta memiliki potensi serapan pada wilayah *near infrared* (NIR). Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh agen kontras berbasis CDs terhadap peningkatan kualitas pencitraan kelenjar saliva menggunakan sistem PAI berbasis laser termodulasi. Metode penelitian meliputi sintesis CDs dari daun sirsak menggunakan metode hidrotermal dengan pemanasan bertahap hingga suhu 150 °C. Karakterisasi dilakukan untuk menentukan ukuran partikel, komposisi unsur, gugus fungsional, dan sifat optik. Selain itu, sistem PAI dikembangkan dan diuji melalui evaluasi respon frekuensi mikrofon terhadap variasi frekuensi AFG, kestabilan daya laser, serta pengaruh variasi *duty cycle* dan frekuensi modulasi. Pengujian dilakukan pada *phantom* agar-agar, dilanjutkan dengan aplikasi *ex vivo* pada kelenjar saliva mencit BALB/c dengan variasi volume dan waktu injeksi CDs. Hasil penelitian menunjukkan bahwa CDs yang dihasilkan memiliki ukuran rata-rata pada skala nanometer (sekitar 1,5-6 nm), dengan dominasi unsur karbon lebih dari 94%, serta keberadaan gugus fungsional –OH dan C=O yang mendukung stabilitas koloidal. Karakterisasi optik menunjukkan bahwa CDs memiliki serapan hingga panjang gelombang 808 nm, yang sesuai untuk eksitasi PAI. Sistem PAI yang dikembangkan menunjukkan kinerja yang stabil, ditandai dengan respon linear frekuensi mikrofon terhadap variasi frekuensi AFG dengan koefisien determinasi mendekati satu ($R^2 \approx 1$), kestabilan daya laser dengan fluktuasi kurang dari 0,05 mW selama 120 menit, serta respon terhadap variasi *duty cycle* yang konsisten, yang ditunjukkan oleh perubahan amplitudo sinyal fotoakustik terhadap variasi *duty cycle*. Sistem pemindaian pada sumbu-*X* dan *Y* juga memperlihatkan linearitas yang baik. Berdasarkan hasil pengujian pada *phantom* agar-agar, frekuensi modulasi optimum pada rentang 9–10 kHz dengan *duty cycle* 30%. Peningkatan amplitudo sinyal fotoakustik cenderung terjadi seiring dengan peningkatan konsentrasi CDs, meskipun perubahan yang diperoleh relatif kecil (~1 dBfs) dan masih berada dalam rentang deviasi pengukuran. Distribusi CDs yang homogen ditunjukkan oleh analisis histogram dan nilai koefisien variasi (CV) di bawah 10%. Aplikasi *ex vivo* pada kelenjar saliva mencit BALB/c memperlihatkan adanya kecenderungan peningkatan amplitudo sinyal fotoakustik setelah injeksi

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/

CDs dibandingkan kondisi tanpa agen kontras. Perubahan intensitas sinyal diamati pada berbagai variasi volume dan waktu pascainjeksi, yang dapat berkaitan dengan distribusi partikel dalam jaringan. Sistem PAI yang telah dikembangkan dan dikombinasikan dengan CDs berbasis daun sirsak sebagai agen kontras menunjukkan potensi sebagai agen kontras dalam meningkatkan kualitas pencitraan jaringan biologis, meskipun optimasi lebih lanjut masih diperlukan untuk meningkatkan sensitivitas dan efektivitas sistem.

Kata Kunci: Pencitraan Fotoakustik, Agen Kontras, Daun Sirsak, *Carbon Dots*

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/

ABSTRACT

***Photoacoustic Imaging Based on Soursop Leaf-Derived Carbon Dots* (CDs)
*(Annona muricata L.) as a Contrast Agent:
Application in Salivary Gland Imaging***

By
Buky Wahyu Pratama
23/524561/SPA/00954

This study was motivated by the limited intrinsic contrast of biological tissues in Photoacoustic Imaging (PAI)*, which necessitates the development of optical contrast agents capable of enhancing signal contrast between target tissues and the surrounding background. One promising candidate is Carbon Dots* (CDs)*, which possess favorable optical and thermal properties, nanoscale dimensions, biocompatibility, and absorption potential in the near-infrared* (NIR) *region. This study aimed to investigate the effect of* CDs*-based contrast agents on improving the imaging quality of salivary glands using a modulated laser-based* PAI *system. The research involved the synthesis of CDs from soursop leaves using a hydrothermal method with gradual heating up to 150 °C. Characterization was conducted to determine particle size, elemental composition, functional groups, and optical properties. In addition, the PAI system was developed and evaluated by investigating the microphone frequency response under different arbitary function generator* (AFG) *frequencies, laser power stability, and the effects of duty cycle and modulation frequency. The system was first tested using agar-based phantoms and subsequently applied ex-vivo to BALB/c mouse salivary glands with variations in CDs injection volume and post-injection time. The results showed that the synthesized* CDs *had average particle sizes (approximately 1.5–6 nm), with a carbon content exceeding 94%, and functional groups* (–OH and C=O) *functional groups that contributed to colloidal stability. Optical characterization indicated that the CDs exhibited absorption extending to wavelength of 808 nm, making them suitable for photoacoustic excitation. The developed* PAI *system demonstrated stable performance, as evidenced by a linear microphone frequency response to variations in AFG frequency with a coefficient of determination close to unity* ($R^2 \approx 1$)*, laser power fluctuations less than 0.05 mW over 120-minute period, and a consistent response to duty cycle variations, reflected by corresponding changes in photoacoustic signal amplitude. The X–Y scanning system also exhibits good linearity. Phantom experiments identify an optimum modulation frequency in the range of 9–10 kHz with a duty cycle of 30%. The photoacoustic signal amplitude tended to increase with increasing CDs concentration, although the observed enhancement was relatively small (approximately 1 dBFS) and remained within the measurement deviation range. A homogeneous distribution of CDs was confirmed by histogram analysis and a coefficient of variation* (CV) *below 10%. Ex vivo experiments on* BALB/c *mouse salivary glands demonstrated a tendency toward increased photoacoustic signal amplitude following CDs injection compared to*

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/

tissues without contrast agents. Variations in signal intensity were observed at different injection volumes and post-injection times, which may be associated with particle distribution within the tissue. In conclusion, the developed PAI *system combined with soursop leaf-derived* CDs *demonstrates the potential of these nanomaterials as optical contrast agent for enhancing biological tissue imaging. However, further optimization is required to improve system sensitivity and overall performance of the imaging system.*

***Keyword**: Photoacoustic Imaging, Contrast Agent, Soursop Leaf, Carbon Dots*