

Produksi Nata de Coco Berdasarkan Kondisi dan Lama Penyimpanan Air Kelapa (*Cocos nucifera* L.)

Nata de Coco Production based on Coconut Water (*Cocos nucifera* L.)
Condition and Storage Duration

**Wida Rina Aprilia^{1*}, Eka Lidasari², Friska Syaiful², Tri Wardani Widowati²,
Agus Wijaya², Parwiyanti², Tri Nurmaseli²**

¹Alumni Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya

²Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya
Jl. Palembang-Prabumulih KM 32 Indralaya Ogan Ilir, Sumatera Selatan, Indonesia

*Korespondensi email: aapriliawidarin@gmail.com

Tanggal submisi: 4 Juni 2025; Tanggal penerimaan: 27 Juni 2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh kondisi dan lama penyimpanan air kelapa terhadap produksi nata de coco. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RALF) dengan dua faktor, yaitu kondisi penyimpanan (ditutup plastik dan ditutup kain) dan lama penyimpanan (0 hari, 3 hari, 6 hari, 9 hari, 12 hari, dan 15 hari). Setiap perlakuan diulang tiga kali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total asam dan total gula air kelapa, serta ketebalan dan rendemen nata de coco dipengaruhi oleh kondisi dan lama penyimpanan air kelapa. pH air kelapa hanya dipengaruhi oleh lama penyimpanan. Interaksi kedua faktor secara nyata memberikan pengaruh terhadap total gula air kelapa. Penyimpanan air kelapa sebagai bahan baku pembuatan nata de coco masih dapat dilakukan hingga hari ke 12.

Kata Kunci: air kelapa; kondisi penyimpanan; lama penyimpanan; nata de coco

ABSTRACT

This study aimed to investigate the effect of coconut water storage conditions and duration on nata de coco production. This study used a Completely Randomized Factorial Design with two factors: storage condition (covered with plastic and covered with fabric) and storage duration (0 days, 3 days, 6 days, 9 days, 12 days, and 15 days). Each treatment was replicated three times. The results showed that the total acid and total sugar of coconut water, as well as the thickness and yield of nata de coco, were affected by both the storage condition and duration of the coconut water. The pH of coconut water was only affected by storage duration. A significant interaction between the two factors was observed for total sugar. Coconut water can still be stored as a raw material for nata de coco production for up to 12 days.

Keywords: coconut water; storage conditions; storage time; nata de coco

PENDAHULUAN

Air kelapa merupakan produk samping dari industri pengolahan buah kelapa. Air kelapa memiliki komposisi gula, asam amino, vitamin dan mineral yang dapat diolah menjadi makanan yang bernilai ekonomi dan bergizi tinggi. Salah satu pemanfaatan air kelapa yang populer adalah sebagai bahan baku nata de coco. Nata de coco merupakan lapisan selulosa yang diperoleh dari hasil fermentasi bakteri *Acetobacter xylinum*. Air kelapa cocok digunakan sebagai bahan baku nata de coco karena komposisi nutrisi air kelapa mampu mendukung tumbuhnya bakteri *Acetobacter xylinum*.

Kualitas air kelapa sebagai media fermentasi sangat menentukan keberhasilan produksi nata de coco. Faktor-faktor seperti jenis bahan baku, lama fermentasi, penambahan bahan (gula, asam asetat, dan amonium sulfat), penggunaan tutup berongga, menghindarkan produk dari guncangan serta penggunaan alat steril sangat mempengaruhi aktivitas bakteri *Acetobacter xylinum* (Putri *et al.*, 2021). Pada umumnya, air kelapa yang dihasilkan di pasar tradisional akan ditampung di jerigen untuk kemudian diangkut ke lokasi pengolahan nata de coco. Air kelapa tersebut langsung diolah, namun terkadang air kelapa harus disimpan dalam jangka waktu tertentu dengan faktor tertentu (Kiswanto dan Suryanto, 2006).

Penyimpanan air kelapa dapat menurunkan pH air kelapa sehingga cocok digunakan sebagai media pertumbuhan bakteri *Acetobacter xylinum* yang tumbuh optimal pada pH 4,3 (Iryandi *et al.*, 2014). Namun penyimpanan air kelapa juga dapat menurunkan kadar zat gula yang menjadi sumber nutrisi bagi bakteri *Acetobacter xylinum* dalam membentuk selulosa (Laras *et al.*, 2013). Pada industri rumahan nata de coco, selain menggunakan jerigen, terkadang penyimpanan air kelapa masih menggunakan wadah penampung yang ditutup dengan anyaman bambu atau dengan pelepah daun kelapa dan disimpan pada suhu ruang. Kondisi tersebut dapat mempengaruhi kualitas nata de coco yang dihasilkan. Penelitian ini

bertujuan untuk mempelajari pengaruh dua faktor utama yaitu kondisi penyimpanan dan lama penyimpanan air kelapa terhadap produksi nata de coco.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: air kelapa, amonium sulfat (ZA) *food grade*, asam asetat glasial, gula pasir, dan starter *Acetobacter xylinum*.

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: jangka sorong, jerigen, kain penutup, kain saring, karet gelang, kertas koran, kompor merk “Rinai”, nampan fermentasi, neraca analitik, panci, pH meter digital, refraktometer merk “AMTAST AMR100”, sendok, dan spatula.

Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RALF) dengan dua faktor perlakuan yaitu kondisi penyimpanan (A) yang terdiri dari dua taraf perlakuan (A1 = Ditutup dengan plastik; A2 = Ditutup dengan kain), dan lama penyimpanan (B) yang terdiri dari enam taraf perlakuan (B1 = 0 hari; B2 = 3 hari; B3 = 6 hari; B4 = 9 hari; B5 = 12 hari; B6 = 15 hari). Parameter yang diamati pada bahan baku air kelapa terdiri dari total asam (Suhaeni, 2018), gula total (Rilek *et al.*, 2017), dan pH (AOAC, 1995). Parameter yang diamati pada nata de coco yaitu ketebalan dan rendemen (Astari, 2018). Data diolah menggunakan analisa keragaman dengan uji lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf 5%.

Prosedur Penelitian

Penyimpanan air kelapa dilakukan merujuk pada Laras *et al.*, (2012), dengan menggunakan jerigen berukuran 1 liter yang telah disterilkan dengan air panas. Jerigen ditutup dan disimpan sesuai perlakuan. Air kelapa yang telah disimpan berdasarkan perlakuan kemudian siap dianalisa. Pembuatan nata de coco dilakukan dengan menggunakan bahan baku

air kelapa berdasarkan masing-masing perlakuan. Penelitian ini menggunakan starter bakteri *Acetobacter xylinum* 10%, 2,5% gula pasir sebagai sumber karbon, dan 0,5% ammonium sulfat sebagai sumber nitrogen tambahan pada masing-masing perlakuan. Penambahan 0,5% asam asetat glasial juga dilakukan sebagai pengatur pH pada perlakuan penyimpanan hari ke 0, sedangkan perlakuan lainnya tanpa penambahan asam asetat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Kimia Air Kelapa

Total Asam

Total asam air kelapa sebelum dilakukan penyimpanan adalah 0,03%. Hasil pengukuran tersebut sejalan dengan penelitian Asaad *et al.*, (2021), bahwa total asam air kelapa berkisar antara 0,045% sampai 0,063%. Setelah dilakukan penyimpanan, total asam air kelapa mengalami peningkatan. Menurut Affandi *et al.*, (2020), terjadi peningkatan total asam tertitrasi selama penyimpanan seiring dengan peningkatan mikrobial. Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa faktor perlakuan A (kondisi penyimpanan) dan faktor perlakuan B (lama penyimpanan) memberikan pengaruh nyata terhadap total asam air kelapa, namun perlakuan interaksi kedua faktor memberikan pengaruh tidak nyata. Hasil uji lanjut menunjukkan perlakuan A1 (tertutup plastik) secara nyata memiliki nilai total asam yang lebih tinggi, yaitu 0,19% dibandingkan dengan perlakuan A2 (tertutup kain) sebesar 0,16%. Hasil uji lanjut juga menunjukkan bahwa perlakuan B5 (penyimpanan 12 hari) memiliki nilai rata-rata total asam yang lebih tinggi, yaitu 0,229% dan berbeda tidak nyata dengan perlakuan B4 (penyimpanan 9 hari) sebesar 0,214% dan perlakuan B3 (penyimpanan 6 hari) sebesar 0,204%, namun berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

Kenaikan total asam air kelapa setelah dilakukan penyimpanan diduga karena adanya aktivitas mikroorganisme yang mendegradasi sukrosa pada air kelapa menjadi asam-asam

organik seperti asam asetat, asam glukonat, dan asam organik lainnya (Efivani, 2017). Semakin banyak asam organik yang terbentuk maka akan mengakibatkan kenaikan total asam dan menurunkan pH. Total asam air kelapa mengalami penurunan kembali pada penyimpanan hari ke 15 menjadi 0,194%. Yeni *et al.*, (2011) dalam penelitiannya menyatakan bahwa setelah mengalami fermentasi asam asetat, bahan yang mengandung asam asetat tersebut tidak boleh dibiarkan terlalu lama kontak langsung dengan udara karena akan terjadi oksidasi lebih lanjut menjadi karbondioksida dan air sehingga kadar asam menurun hingga batas yang tidak dikehendaki.

Total Gula

Total gula air kelapa pada penyimpanan 0 hari memiliki nilai sebesar 4,10% dan terus mengalami penurunan. Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa faktor perlakuan A (kondisi penyimpanan), faktor perlakuan B (lama penyimpanan), dan interaksi kedua faktor memberikan pengaruh nyata terhadap total gula air kelapa. Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa perlakuan A1 (tutup plastik) secara nyata memiliki nilai yang lebih tinggi yaitu sebesar 3,39%, dibandingkan dengan perlakuan A2 (tutup kain) sebesar 2,94%. Penyimpanan air kelapa menyebabkan terjadinya fermentasi gula yang terdapat pada air kelapa. Total gula pada penyimpanan air kelapa tutup plastik selama 3 sampai 15 hari memiliki nilai yang stabil diduga karena mikroorganisme yang terdapat pada air kelapa mengalami fase stasioner, yaitu fase ketika laju pertumbuhan sama dengan laju kematian mikroorganisme (Wijaya, *et al.*, 2016). Pertumbuhan yang konstan antara mikroorganisme yang hidup dan yang mati disebabkan oleh berkurangnya nutrisi pada media pertumbuhan (Sharah, *et al.*, 2015).

Hasil uji lanjut juga menunjukkan bahwa total gula air kelapa pada penyimpanan 0 hari memberikan perbedaan secara nyata dengan perlakuan lainnya. Menurut Putri (2018), semakin lama waktu fermentasi, konsentrasi gula pada media akan semakin menurun. Penurunan

konsentrasi gula tersebut diduga disebabkan oleh meningkatnya konsumsi gula oleh mikroorganisme. Sukotjo (2021), melaporkan dalam penelitiannya bahwa ketika mikroorganisme memanfaatkan gula yang ada, mikroorganisme mulai bertumbuh. Selanjutnya gula akan turun karena pertumbuhan mikroorganisme semakin pesat.

Hasil uji lanjut interaksi kedua faktor menunjukkan bahwa penyimpanan air kelapa dengan tutup kain selama 15 hari berbeda tidak nyata dengan penyimpanan air kelapa dengan tutup kain selama 12 dan 9 hari, namun berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Air kelapa dengan penyimpanan 0 hari menghasilkan nilai total gula tertinggi. Total gula air kelapa yang disimpan dengan tutup kain pada penyimpanan hari ke 3 mengalami penurunan menjadi 3,00% dan terus mengalami penurunan perlahan sampai hari ke 15 dengan nilai sebesar 2,27%. Sedangkan air kelapa yang disimpan dengan tutup plastik pada penyimpanan hari ke 3 mengalami penurunan menjadi 3,27% dan cenderung stabil pada nilai berkisar antara 3,27% sampai hari ke 15.

Tabel 1. Hasil uji lanjut BNJ 5% pengaruh perbedaan kondisi dan lama penyimpanan air kelapa terhadap total gula air kelapa

Perlakuan	Total gula rata-rata (%)	BNJ 5 % = 0,5376
A2B6 (tutup kain, 15 hari)	2,27	a
A2B5 (tutup kain, 12 hari)	2,57	ab
A2B4 (tutup kain, 9 hari)	2,80	ab
A2B3 (tutup kain, 6 hari)	2,93	b
A2B2 (tutup kain, 3 hari)	3,00	b
A1B5 (tutup plastik, 12 hari)	3,20	b
A1B3 (tutup plastik, 6 hari)	3,23	b
A1B2 (tutup plastik, 3 hari)	3,27	b
A1B6 (tutup plastik, 15 hari)	3,27	b
A1B4 (tutup plastik, 9 hari)	3,30	b
A1B1 (tutup plastik, 0 hari)	4,10	c
A2B1 (tutup kain, 0 hari)	4,10	c

Keterangan : angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata

Derajat keasaman

Nilai pH rata-rata air kelapa cenderung mengalami penurunan secara perlahan selama penyimpanan 3 hari sampai 15 hari. Berdasarkan Laily *et al.*, (2019), perubahan nilai pH menjadi lebih asam dapat disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme yang memetabolisme gula dan menghasilkan asam organik terutama asam asetat. Kadar keasaman produk yang meningkat dapat menurunkan pH. Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa faktor B (lama penyimpanan) memberikan pengaruh nyata terhadap nilai pH air kelapa, namun faktor A (kondisi penyimpanan) dan perlakuan interaksi kedua faktor memberikan pengaruh tidak nyata. Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa pH air kelapa pada perlakuan B1 (penyimpanan 0 hari) secara nyata memiliki nilai rata-rata pH paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya, yaitu sebesar 5,7.

Hasil yang didapatkan sejalan dengan penelitian Efivani (2017), yang melaporkan bahwa penurunan tersebut terjadi karena kandungan sukrosa dan sumber nutrisi pada awal penyimpanan masih tersedia untuk pertumbuhan dan proses metabolisme oleh mikroorganisme dalam menghasilkan senyawa asam organik. Sumber nutrisi tersebut akan berkurang seiring dengan lama penyimpanan air kelapa. Menurut Zhang, *et al.* (2017), pH air kelapa menurun secara signifikan sedangkan asam laktat dan asam asetat meningkat secara signifikan selama penyimpanan air kelapa terutama terjadi pada tahap awal penyimpanan. Penyimpanan air kelapa tidak dilanjutkan karena pH air kelapa sudah mencapai 3,2 setelah penyimpanan selama 15 hari. Penyimpanan harus dihentikan setelah 15 hari untuk tetap mendapatkan air kelapa yang baik sebagai media pertumbuhan bakteri *Acetobacter xylinum* yang memiliki pH optimum 4,3.

Karakteristik Fisik Nata de Coco

Ketebalan

Ketebalan nata de coco umumnya berkisar antara 1-1,5 cm (Rose, *et al.*, 2018). Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa faktor perlakuan A (kondisi penyimpanan) dan faktor

perlakuan B (lama penyimpanan) memberikan pengaruh nyata terhadap ketebalan nata de coco, namun perlakuan interaksi kedua faktor memberikan pengaruh tidak nyata. Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa perlakuan A1 (tutup plastik) menghasilkan nata dengan ketebalan rata-rata 1,58 cm yang secara nyata lebih tebal dari perlakuan A2 (tutup kain) dengan ketebalan rata-rata 1,47 cm. Nilai ketebalan tersebut berkaitan dengan total asam dan total gula yang dimiliki pada masing-masing perlakuan. Air kelapa yang disimpan menggunakan tutup plastik memiliki total asam dan total gula yang lebih tinggi. Ketebalan yang lebih baik pada kondisi tutup plastik diduga karena substrat yang digunakan sebagai media fermentasi bakteri *Acetobacter xylinum* memiliki nutrisi yang optimal dan proses yang terkontrol dengan baik. Hasil uji lanjut juga menunjukkan bahwa ketebalan optimal diperoleh pada perlakuan B4 (penyimpanan 9 hari) sebesar 1,67 cm. Setelah itu ketebalan cenderung menurun. Penurunan ini sejalan dengan penurunan rendemen.

Rendemen

Rendemen merupakan jumlah produk nata yang dihasilkan dari fermentasi. Ketebalan nata berbanding lurus dengan rendemen. Semakin tebal nata maka akan memiliki rendemen yang semakin tinggi (Putranto dan Taofik, 2017). Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa kondisi penyimpanan (A) dan lama penyimpanan (B) memberikan pengaruh nyata terhadap rendemen nata de coco, namun perlakuan interaksi kedua faktor memberikan pengaruh tidak nyata. Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa rendemen rata-rata pada kondisi A1 (tutup plastik) sebesar 80,90% secara nyata lebih tinggi dibandingkan A2 (tutup kain) yaitu sebesar 75,89%. Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa rendemen tertinggi diperoleh pada perlakuan B4 (penyimpanan 9 hari) sebesar 83,03%, kemudian cenderung menurun seiring bertambahnya waktu penyimpanan. Hal ini berkaitan dengan ketebalan nata de coco. Menurut

Chaniago (2017), rendemen yang tinggi diperoleh dari rasio antar karbon dan nitrogen optimal serta proses yang terkontrol dengan baik.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah kondisi dan lama penyimpanan air kelapa berpengaruh nyata terhadap total asam, total gula air kelapa, serta ketebalan dan rendemen nata de coco. Interaksi kedua faktor secara nyata memberikan pengaruh terhadap total gula air kelapa. Kondisi penyimpanan air kelapa tertutup plastik memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan tertutup kain. Penyimpanan air kelapa sebagai bahan baku pembuatan nata de coco masih dapat dilakukan hingga hari ke 12.

DAFTAR PUSTAKA

- AOAC. (1995). Official Methods of Analytical Chemistry. Washington D.C University of America.
- Affandi, D. R., Sanjaya, A. P., dan Mardiana, S. R., (2020). Umur Simpan Sambal Pari (*Dasyatis Sp.*) Asap yang Dikemas Jar Pada beberapa Cara Pemasakan dengan Metode Pendugaan *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT). *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 13(2), 111-123.
- Asaad, A. N., Jailani, F., dan Mutalib S. R. A., (2022). *Physicochemical Properties and Sensory Acceptability of Different Varieties of Coconut Water and Flesh*. *Scientific Research Journal*, 19(1), 75-89.
- Astari, M. W., (2018). *Pengaruh Variasi Konsentrasi Gula Batu Terhadap Ketebalan, Rendemen, dan Uji Organoleptik Nata de Fruit Peel*. Skripsi. Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta.
- Chaniago, R., (2017). Karakteristik Fisikokimia dan Sensori Nata Kulit Buah Naga dengan Varian Konsentrasi Sukrosa dan Waktu Fermentasi. Skripsi. Semarang : Universitas Katolik Soegijapranata.
- Efivani, A. P., (2017). Pengaruh Konsentrasi Teh Putih terhadap Karakteristik Antioksidan serta Potensi Probiotik Kombucha dengan Pendekatan Pemodelan Matematik. Skripsi. Semarang : Universitas Katolik Soegijapranata.

- Kiswanto, Y. dan S. Saryanto. (2006). Pengaruh Suhu dan Lama Penyimpanan Air Kelapa terhadap Produksi Nata de Coco. *Buletin Agro Industri* No. 20. INTAN Yogyakarta: 29-41.
- Laily, I., Santy, W. H., dan Pratiwi, V. N., (2019). Pengaruh Kultur Campuran dalam Fermentasi Alkohol terhadap Sifat Fisikokimia dan Sensoris Cuka Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.). *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 7(3), 9-18.
- Laras, F. A., Zakiatulyaqin, dan Priyono, S., (2013). Pengaruh Lama Penyimpanan Air Kelapa dan Konsentrasi Gula Pasir Terhadap Karakteristik dan Organoleptik Nata de Coco. *Jurnal Sains Mahasiswa Pertanian*, 2(2), 1- 12.
- Putranto, K. dan Taofik, A., (2017). Penambahan Ekstrak Toge pada Media Nata de Coco. *Jurnal ISTEK*, 10(2), 138-149.
- Putri, M. R. C., (2018). Pengaruh Konsentrasi Gula dan Penambahan Jumlah Inokulum pada Media Molase terhadap Produksi Asam Laktat oleh *Lactobacillus casei* FNCC 0090 NRRL B-1922. Skripsi. Malang : Universitas Brawijaya.
- Putri, S. N. Y. Syaharani, W. F., Utami, C. V. B., Safitri, D. R., Arum, Z. N., Prihastari, Z. S., dan Sari, A. R., (2021). Pengaruh Mikroorganisme, Bahan Baku, dan Waktu Inkubasi pada Karakter Nata: Review. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 14(1), 62-74.
- Rilek, N. M., Hidayat, N., dan Sugiarto, Y., (2017). Hidrolisis Lignoselulosa Hasil *Pretreatment* Pelepah Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) menggunakan H₂SO₄ pada Produksi Bioetanol. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 6(2), 76-82.
- Rose, D., Ardiningsih, P., dan Idiawati, N., (2018). Karakteristik Nata de Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) dengan Variasi Konsentrasi Starter *Acetobacter xylinum*. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 7(4), 1-7.
- Sharah, A., Karnila, R., dan Desmelati, (2015). Pembuatan Kurva Pertumbuhan Bakteri Asam Laktat yang Di Isolasi dari Ikan Peda Kembung (*Rastrelliger sp.*). *Jurnal Organisasi dan Menejemen*, 2(2), 1-8.
- Suhaeni, (2018). Uji Total Asam dan Organoleptik Yoghurt Katuk (*Sauropus androgyneus*). *Jurnal Dinamika*, 9(2), 21-28.
- Sukotjo, K. A. K., (2021). Pengaruh Penambahan *Grits* Jagung (*Zea mays* L.) sebagai *Adjuncts* dan *Extract Malt Barley* terhadap Karakteristik Fisikokimiawi, Mikrobiologi dan Sensori Produk Bir. Skripsi. Semarang : Universitas Katolik Soegijapranata.
- Wijaya, I. K. A., Putra, G. P. G., dan Antara, N. S., (2016). Pengaruh Lama Fermentasi secara Anaerob Cairan Pulpa Hasil Samping Fermentasi Biji Kakao terhadap Karakteristik Alkohol. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 4(1), 82-91.
- Yeni, L. F., Hidayat, A., dan Marlina, R., (2011). Isolasi dan Aktivitas Fermentasi Bakteri Asam Asetat pada Nira Nipah (*Nypa fruticans*). *Jurnal Pendidikan Matematika dan IPA*, 2(1), 1-10.

Zhang, Y., Ma, Q., Luo, S., Zhao, G., Liang, Y. (2017). Dynamic Profile of the Microbiota during Coconut Water Pre-Fermentation for Nata de Coco Production. *Food Science and Technology*, 81, 87-93.