UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengaruh Subtitusi Bio-Oil Limbah Cangkang Pala Kadar 15% pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) terhadap Rutting dan Moisture Damage
Mochamad Sifa Mahendra, Ir. Latif Budi Suparma, M.Sc., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Penelitian ini mengkaji pengaruh penggunaan *nutmeg shell bio-oil* (NSBO) sebagai bahan substitusi sebesar 15% terhadap aspal penetrasi 60/70 pada campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC). Pengembangan bioaspal menjadi salah satu alternatif untuk mengurangi penggunaan aspal berbasis minyak bumi yang ketersediaannya semakin terbatas. Salah satu sumber bioaspal yang berpotensi dimanfaatkan adalah limbah cangkang buah pala yang melimpah di Indonesia. Cangkang buah pala mengandung lignin, selulosa, dan senyawa fenolik yang berpotensi dikonversi menjadi *bio-oil* melalui proses pirolisis, yaitu proses dekomposisi termal biomassa pada suhu tinggi dengan kondisi minim atau tanpa oksigen. *Bio-oil* yang dihasilkan kemudian digunakan sebagai bahan substitusi aspal dengan dicampur sehingga menjadi sebuah *bio-binder*.

Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium menggunakan aspal penetrasi 60/70, agregat andesit, dan filler debu batu dengan dua variasi campuran, yaitu campuran tanpa NSBO (0%) sebagai kontrol dan campuran dengan substitusi NSBO sebesar 15%. Tahapan penelitian meliputi pengujian karakteristik bahan penyusun, penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) melalui metode Marshall, serta evaluasi kinerja campuran menggunakan pengujian Marshall Sisa, *Indirect Tensile Strength* (ITS), *Wheel Tracking Test* (WTT), dan *British Pendulum Test* (BPT). Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan hasil pengujian terhadap Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2025.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aspal penetrasi 60/70 memenuhi seluruh persyaratan spesifikasi, sedangkan penambahan NSBO sebesar 15% meningkatkan nilai penetrasi dan menurunkan viskositas sehingga menunjukkan karakteristik pengikat yang lebih lunak. Kedua variasi campuran memenuhi seluruh parameter Marshall, namun penggunaan NSBO meningkatkan Kadar Aspal Optimum dari 5,6% menjadi 6,2% serta menurunkan nilai stabilitas. Pada pengujian British Pendulum Test, nilai kekesatan campuran dengan NSBO mengalami penurunan, tetapi masih memenuhi batas minimum yang dipersyaratkan. Di sisi lain, ketahanan terhadap *moisture damage* mengalami peningkatan yang ditunjukkan oleh nilai *Residual* Marshall *Stability* (RMS) dan *Tensile Strength Ratio* (TSR) yang lebih tinggi dibandingkan campuran kontrol. Sebaliknya, hasil *Wheel Tracking Test* menunjukkan bahwa meskipun deformasi akhir campuran NSBO lebih kecil, nilai stabilitas dinamis menurun dan kecepatan deformasi meningkat, yang mengindikasikan penurunan ketahanan terhadap deformasi permanen pada suhu tinggi. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa substitusi NSBO sebesar 15% berpotensi meningkatkan ketahanan campuran AC-WC terhadap kerusakan akibat pengaruh air, namun memberikan pengaruh yang kurang menguntungkan terhadap ketahanan campuran terhadap deformasi permanen pada kondisi pembebanan dan suhu tinggi.

Kata kunci: *Bio-oil* cangkang pala, AC-WC, Karakteristik Marshall, Kerusakan kelembaban, Deformasi permanen, Ketahanan deformasi permanen

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengaruh Subtitusi Bio-Oil Limbah Cangkang Pala Kadar 15% pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) terhadap Rutting dan Moisture Damage
Mochamad Sifa Mahendra, Ir. Latif Budi Suparma, M.Sc., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

This study investigates the effect of using nutmeg shell bio-oil (NSBO) as a 15% substitute for penetration grade 60/70 asphalt in Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) mixtures. The development of bio-asphalt has emerged as an alternative approach to reduce the use of petroleum-based asphalt, whose availability is becoming increasingly limited. One potential source of bio-asphalt is nutmeg shell waste, which is abundantly available in Indonesia. Nutmeg shells contain lignin, cellulose, and phenolic compounds that can be converted into bio-oil through a pyrolysis process, which involves the thermal decomposition of biomass at high temperatures under limited or oxygen-free conditions. The resulting bio-oil was blended with conventional asphalt to produce a bio-binder and subsequently used as a partial asphalt substitute.

This research was conducted experimentally in the laboratory using penetration grade 60/70 asphalt, andesite aggregates, and stone dust filler. Two mixture variations were evaluated, namely a control mixture without NSBO (0%) and a mixture containing 15% NSBO substitution. The research stages included material characterization tests, determination of the Optimum Asphalt Content (OAC) using the Marshall *method, and performance evaluation through Residual* Marshall *Stability (RMS), Indirect Tensile Strength (ITS), Wheel Tracking Test (WTT), and British Pendulum Test (BPT). The data were analyzed using a quantitative descriptive approach and compared with the 2025 Bina Marga General Specifications*.

The results showed that the penetration grade 60/70 asphalt satisfied all specification requirements, while the addition of 15% NSBO increased the penetration value and reduced viscosity, indicating a softer binder characteristic. Both mixtures met all Marshall *criteria; however, the use of NSBO increased the Optimum Asphalt Content from 5.6% to 6.2% and reduced* Marshall *stability. The British Pendulum Test results indicated a decrease in skid resistance for the NSBO mixture, although the values remained above the minimum specified requirement. On the other hand, resistance to moisture damage improved, as demonstrated by higher Residual* Marshall *Stability (RMS) and Tensile Strength Ratio (TSR) values compared with the control mixture. Conversely, the Wheel Tracking Test results revealed that although the NSBO mixture exhibited a lower final rut depth, it showed lower dynamic stability and a higher deformation rate, indicating reduced resistance to permanent deformation at elevated temperatures. Based on the findings, the 15% substitution of Nutmeg Shell Bio-oil (NSBO) demonstrated the potential to enhance the moisture damage resistance of AC-WC mixtures. However, it showed a less favorable effect on the mixture's resistance to permanent deformation under repeated loading and elevated temperature conditions.*

Keywords*: Nutmeg shell bio-oil, AC-WC,* Marshall *characteristics, moisture damage, permanent deformation, rutting resistance.*