

INTISARI

Pembangunan jembatan bentang panjang di Indonesia semakin meningkat sebagai respons terhadap kebutuhan menghubungkan berbagai daerah yang terpisah oleh sungai, lembah, teluk dan selat. Jembatan jenis *cable stayed* dan pelengkung (*arch bridge*) telah menjadi pilihan umum, dengan kabel dan hanger memainkan peran kritis dalam menyalurkan gaya dalam struktur jembatan. Kegagalan pada elemen-elemen ini dapat berdampak serius pada integritas keseluruhan jembatan. Untuk meningkatkan pemantauan kesehatan struktural, khususnya pada elemen kabel/hanger, diperlukan inovasi dalam metode atau teknologi pemantauan yang lebih praktis dan akurat.

Pada penelitian ini dikaji penempatan sensor *accelerometer* pada kabel yang lebih tepat agar data frekuensi dan urutan mode yang terukur lebih sistematis, menyiapkan kurva-kurva hubungan gaya kabel dengan frekuensi alami kabel melalui simulasi numerik, dan memanfaatkan kurva tersebut untuk analisis interpretasi data frekuensi menjadi gaya kabel, dan prinsip tersebut diimplementasikan dalam pengujian eksperimental pada 4 jembatan bentang panjang (2 *cable stayed* dan 2 *steel arch bridge*), untuk menunjukkan metode yang diusulkan menghasilkan gaya kabel yang lebih akurat dibanding metode yang umum digunakan yaitu *string* dan *beam theory*. Metode identifikasi gaya kabel menggunakan kombinasi pengukuran frekuensi dan model numerik yang diusulkan ini merupakan pendekatan praktis dalam pemantauan kesehatan jembatan, tanpa memerlukan data hasil *lift-off*, atau *fine-tuning* dari kabel yang ditinjau.

Hasil penelitian menyimpulkan : (a) rekomendasi letak sensor *accelerometer* adalah pada rentang $0.1L$ hingga $0.15L$ dari panjang kabel/hanger, untuk mempermudah penetapan urutan mode dan nilai frekuensi kabel, (b) penggunaan kurva hubungan gaya kabel vs frekuensi kabel yang disiapkan terlebih dahulu dari simulasi numeris dapat digunakan untuk menginterpretasikan hasil pengukuran frekuensi menjadi gaya kabel secara lebih akurat, dan (c) metode usulan, yang diberi nama *hybrid method* karena mengombinasikan hasil pengukuran frekuensi (eksperimental di lapangan) dengan kurva hasil simulasi numeris, memberikan kontribusi signifikan pada pemantauan gaya kabel/hanger jembatan bentang panjang secara lebih akurat namun lebih praktis dan lebih efisien dibanding metode konvensional.

Kata kunci: *Cable Stayed; Arch Bridge; Gaya Kabel; Accelerometer; Hybrid Method.*

ABSTRACT

The construction of long-span bridges in Indonesia is on the rise, responding to the need for connectivity between regions separated by rivers, valleys, bays, and straits. Cable-stayed and arch bridges have become common choices, with cables and hangers playing a critical role in transmitting forces within the bridge structure. Failures in these elements can have serious implications for the overall integrity of the bridge. To enhance structural health monitoring, especially of cable/hanger elements, there is a need for innovation in more practical and accurate monitoring methods or technologies.

This study investigates the precise placement of accelerometer sensors on cables to systematically measure frequency data and mode order, prepares curves depicting the relationship between cable forces and natural frequencies through numerical simulations, and utilizes these curves for interpreting frequency data into cable forces. This principle is implemented in experimental tests on four long-span bridges (2 cable-stayed and 2 steel arch bridges) to demonstrate that the proposed method produces more accurate cable forces compared to commonly used methods such as string and beam theory. The cable force identification method using the combination of frequency measurements and the proposed numerical model is a practical approach to bridge health monitoring, eliminating the need for lift-off or fine-tuning data from the examined cables.

The research findings conclude that: (a) the recommended placement of accelerometer sensors is within the range of $0.1L$ to $0.15L$ from the cable/hanger length to facilitate the determination of mode order and cable frequency, (b) the use of pre-prepared curves depicting the relationship between cable forces and cable frequencies from numerical simulations can be employed to interpret frequency measurement results more accurately, and (c) the proposed method, named the hybrid method for combining frequency measurement results (experimental in the field) with curves from numerical simulations, significantly contributes to more accurate yet practical and efficient cable/hanger monitoring in long-span bridge structures compared to conventional methods.

Kata kunci: *Cable Stayed; Arch Bridge; Cable Force; Accelerometer; Hybrid Method.*