

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Metode vektor beban penentu lokasi kerusakan (VBPLK) yang diterapkan sebagai tahap pertama pada deteksi kerusakan struktur sampai dengan level 3 dapat secara akurat mendeteksi elemen struktur yang terindikasi mengalami kerusakan.
2. Pada struktur rangka batang, metode VBPLK juga dapat mendeteksi batang lain yang mengalami kerusakan selain batang yang direncanakan mengalami kerusakan.
3. Pada struktur rangka batang tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara skenario kerusakan yang digunakan dengan hasil analisis metode MAC-SOS.
4. Pada struktur rangka batang metode MAC-SOS mampu mendeteksi kerusakan struktur sampai dengan level 3 baik itu pada skenario kerusakan *single damage*, *double damage*, maupun *triple damage*.
5. Pada struktur portal bidang tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara skenario kerusakan yang digunakan dengan hasil analisis metode MAC-SOS, meskipun perbedaan nilai antara skenario kerusakan dengan hasil analisis metode MAC-SOS pada struktur portal bidang cenderung lebih kecil jika dibandingkan

dengan perbedaan nilai antara skenario kerusakan dengan hasil analisis metode MAC-SOS pada struktur rangka batang.

6. Pada struktur portal bidang metode MAC-SOS mampu mendeteksi kerusakan struktur sampai dengan level 3 baik itu pada skenario kerusakan *double damage*, *triple damage*, maupun *multiple damage*.
7. Metode MAC-SOS dapat digolongkan sebagai metode deteksi kerusakan struktur level 3.

#### **B. Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Perlu dikembangkan dan digunakan algoritma metaheuristik yang lain untuk mendeteksi kerusakan struktur sampai dengan level 3.
2. Tipe struktur yang lebih kompleks, seperti struktur 3 dimensi, perlu digunakan untuk penelitian mendatang.
3. Perlu dilakukan studi eksperimental di laboratorium untuk dibandingkan hasilnya dengan hasil analisis numerik.
4. Metode lain selain vektor beban penentu lokasi kerusakan untuk mendeteksi kerusakan struktur level 2 perlu dicoba pada tahap pertama sebelum penerapan metode MAC-SOS.
5. Metode MAC-SOS perlu dikembangkan agar dapat mendeteksi kerusakan struktur sampai dengan level 4.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adams, R.D., Cawley, P., Pye, C.j., and Stone, B.J. (1978). "A vibration technique for nondestructive assessing the integrity of structures". *Journal of Mechanical Engineering Science*, 20, 93-100.
- Allemang, R.J. 2003. The Modal Assurance Criterion – Twenty Years of Use and Abuse. *Journal of Sound and Vibration*, 37 .8, p.14-21.
- Arfiadi, Y., 2003," Program Bantu Untuk Pengajaran Dan Pemahaman Metoda Matriks Kekakuan Bagi Mahasiswa Teknik", Lokakarya Sekitar Mekanika Rekayasa, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Bandung, 21 Agustus.
- Arfiadi, Y., 2003b, Bahan Kuliah Dinamika Struktur, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Arfiadi, Y., 2012, Pengaruh Jumlah Sensor pada Deteksi Kerusakan Struktur dengan Metode Vektor Beban Penentu Lokasi Rusak, Konteks 6, Universitas Trisakti, Jakarta.
- Arfiadi, Y. dan Wibowo, F.X.N., 2005, Damage Detection by Using Matrix Flexibility Approach, *Proceeding One Day Civil Engineering Seminar*, UPH, 19 Oktober, F1-F15 (in bahasa Indonesia).
- Baker, K., 2005, Singular Value Decomposition Tutorial, 29 Maret 2005 (Revised January 14,2013),diakses14/10/2020,[http://www.ling.ohiostate.edu/.../Singular\\_Value\\_Decomposition\\_Tutorial.pdf](http://www.ling.ohiostate.edu/.../Singular_Value_Decomposition_Tutorial.pdf).
- Bernal, D., 2002, Load Vectors for Damage Localization, *Journal of Engineering Mechanics*, Vol 128(1), pp. 7–14.
- Cawley, P. And Adams, R.D. (1979). "The location of defects in structures from measurements of natural frequencies". *Journal of Strains Analysis*, 14, 49-57.
- Cheng, M.-Y., Prayogo, D., 2014. Symbiotic Organisms Search: A new metaheuristic optimization algorithm. *Computers & Structures* 139, 98-112.
- Doebling, S.W., Farrar, C.R., Prime, M.B. and Schevitz, D.W. (1996). *Damage Identification and Health Monitoring of Structural and Mechanical System from Changes in their Vibration Characteristics: A Literture Review*, Los Alamos Report, LA=13070-MS.
- Fox, C.H.J. (1992). "The location of defects in structures: a comparison of the use of natural frequency and mode shape data." *Proc. of the 10th International Modal Analysis Conf.*, Las Vegas, Nevada, Vol.I, 522–528.
- Frans, R. & Arfiadi, Y. & Parung, H. 2017. Comparative Study of Mode Shapes Curvature and Damage Locating Vector Methods for Damage Detection of Structures. *Procedia Engineering*. 171. 1263-1271. 10.1016/j.proeng.2017.01.420.

- Frans, R. & Arfiadi, Y. Deteksi Kerusakan Struktur Portal Bidang dengan Menggunakan Modal Assurance Criterion-Firefly Algorithm (MAC-FA). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, [S.l.], p. 6-15, jan. 2019. ISSN 2541-5484.
- Frans, R. & Arfiadi, Y. 2017. Structural damage detection using MAC-Fast Multi Swarm Optimization technique (MAC-FMSO). *MATEC Web of Conferences*. 138. 02020.
- Gao, Y., Spencer, Jr., B.F. and Bernal, D., 2004, Experimental Verification of the Damage Locating Vector Method, *Proc. of the 1st International Workshop on Advanced Smart Materials and Smart Structures Technology*, Honolulu, Hawaii, January 12-14.
- Gao, Y., 2005, Structural health monitoring strategies for smart sensor networks, *PhD. Dissertation-University of Illinois at Urbana-Champaign*, Urbana, Illinois.
- Gere, J.M. and Weaver W., 1987, *Matrix Algebra for Engineers*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Kaushik, Aditya & Sundaram, B. & Parivallal, S. & Ak, Farvaze & Ravisankar, K.. (2014). Numerical Studies on the Damage Locating Vector Approach for Damage Detection Using Static Load Data. *Procedia Engineering*. 86. 693-700. 10.1016/j.proeng.2014.11.071.
- Kim, J.-H., Jeon, H.-S., and Lee, C.-W. (1992). "Application of the modal assurance criteria for detecting structural faults." *Proc. of the 10th International Modal Analysis Conf.*, Las Vegas, Nevada, Vol.I, 536–540.
- Meruane, V. & Heylen, Ward. (2008). Damage detection on a multi-cracked beam by parallel genetic algorithms using modal characteristics.
- Pandey, A.K., and Biswas, M. (1994). "Damage detection in structures using changes in flexibility." *J. of Sound and Vibration*, 169(1):3–17.
- Pandey, A.K., and Biswas, M. (1995a). "Damage diagnosis of truss structures by estimation of flexibility change." *Modal Analysis*, 10:104–117.
- Pandey, A.K., and Biswas, M. (1995b). "Experimental verification of flexibility difference method for locating damage in structures." *J. of Sound and Vibration*, 184:311–328.
- Pástor, M. & Binda, Michal & Harčarik, Tomáš. (2012). Modal Assurance Criterion. *Procedia Engineering*. 48. 543–548.
- Prayogo, Doddy & Wong, Foek Tjong & Gunawan, Ricky & Ali, Stefano & Sugianto, Steven. (2018). Optimasi Ukuran Penampang Rangka Batang Baja berdasarkan SNI 1729:2015 dengan Metode Metaheuristik Symbiotic Organisms Search. *Jurnal Teknik Sipil*. 25. 41. 10.5614/jts.2018.25.1.6.
- Ricles, J.M., and Kosmatka, J.B. (1992). "Damage detection in elastic structures using vibratory residual forces and weighted sensitivity." *AIAA Journal*, 30:2310–2316.
- Saberi, M. & Kaveh, A.. (2015). Damage detection of space structures using charged system search algorithm and residual force method. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*. 39. 215-229.

- Saputro, D.S.H., 2011, Deteksi Kerusakan Struktur pada Portal Bidang, Laporan Tugas Akhir Sarjana Strata Satu-Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.
- Sheinman, I. (1996). "Damage detection and updating of stiffness and mass matrices using mode data." *Computers & Structures*, 59:149–156.
- Shi, Z.Y., and Law, S.S. (1998). "Structural Damage Localization from Modal Strain Energy Change." *J. of Sound and Vibration*, 218(5):825–844.
- Shi, Z.Y., Law, S.S., and Zhang, L.M. (2000). "Structural Damage Detection from Modal Strain Energy Change." *J. of Engrg. Mech.*, 126(12):1216–1223.
- Shi, Z.Y., Law, S.S., and Zhang, L.M. (2000a). "Damage localization by directly using incomplete mode shapes". *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 126, 656-660. Vol. 126(12), 1216-1223.
- Shi, Z.Y., Law, S.S., and Zhang, L.M. (2002). "Improved Damage Quantification from Elemental Modal Strain Energy Change." *J. of Engrg. Mech.*, 128(5):521–529.
- Stubbs, N. (1985). "A general theory of non-destructive damage detection in structures." *Proc. of the 2nd International Symposium on Struct. Control*, Ontario, Canada, 694–713.
- Stubbs, N., and Osegueda, R. (1987). "Global nondestructive damage evaluation of offshore platforms using modal analysis." *Proc. of the 6th International Offshore Mech. and Arctic Engrg. Symposium*, Houston, Texas, Vol.II, 517–524.
- Stubbs, N., and Osegueda R. (1990a). "Global non-destructive damage evaluation in solids." *Modal Analysis: The International J. of Analytical and Experimental Modal Analysis*, 5(2):67–79.
- Stubbs, N., and Osegueda R. (1990b). "Global damage detection in solids—experimental verification." *Modal Analysis: The International J. of Analytical and Experimental Modal Analysis*, 5(2):81–97.
- Subiyanto, Y.2013.Deteksi Kerusakan Bracing Pada Portal Bidang Baja Tipe Bracing Konsentrik, Laporan Tugas Akhir Sarjana Strata Satu-Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.
- Supartono, F.X., Boen Teddy. 1980, Analisis Struktur dengan Metoda Matriks, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Toksoy, T., and Aktan, A.E. (1994). "Bridge-condition assessment by modal flexibility." *Experimental Mech.*, 34:271–278.
- West, W.M. (1984). "Illustration of the use of modal assurance criterion to detect structural changes in an orbiter test specimen." *Proc. Air Force Conf. on Aircraft Struct. Integrity*, 1–6.
- Yao, G.C., Chang, K.C., and Lee, G.C. (1992). "Damage diagnosis of steel frames using vibrational signature analysis." *J. of Engrg. of Mech.*, 118(9):1946–1961.