

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada Belleville *spring washer* yang ditempatkan di atas pelat baja dan diberikan beban dengan pertimbangan variasi friksi dan variasi *stacking*, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Persamaan J. O. Almen dan A. Lászlò (1936) memberikan hasil yang jauh berbeda dibandingkan hasil analisis numerik model *frictionless* dengan persentase perbedaan sebesar 71,78%. Persamaan ini masih terlalu sederhana untuk mencapai nilai yang mendekati hasil analisis numerik.
2. Persamaan DIN 2092 (2006) memberikan hasil yang cukup mendekati dengan hasil analisis numerik dengan model *frictionless*. Beban hasil analisis pada defleksi 0-0,75 mm lebih kecil dari beban hasil persamaan (*overestimate*), sedangkan hasil beban analisis pada defleksi di atas 0,75 mm melampaui hasil persamaan (*underestimate*). Oleh karena itu, persamaan DIN 2092 dapat dipakai untuk kalkulasi dengan syarat defleksi tidak lebih besar dari 30% tinggi bebas *washer* (0,3 ho).
3. Hasil analisis variasi friksi menunjukkan bahwa hasil kekakuan *washer* antara variasi friksi cukup proporsional. Kesimpulan ini didapatkan dari persentase perbedaan antara model I-1-0 dan I-1-0,1 (dikalikan 5) dibandingkan dengan persentase perbedaan antara model I-1-0 dan I-1-0,5. Selisih antara kedua persentase diperoleh di bawah 1%.
4. Berdasarkan kurva perbandingan variasi friksi, semakin besar nilai koefisien friksinya, maka semakin besar kekakuan Belleville *spring washer*. Semua model variasi friksi mulai mengalami leleh pada defleksi 1,08 mm dan bagian keliling dalam *washer* yang memiliki regangan plastis terbesar. Selain itu, *washer* tidak mengalami leleh pada defleksi di bawah 30% tinggi bebas *washer* (0,3 ho).

5. Pada perbandingan variasi friksi dari hasil persamaan DIN 2092 dan analisis numerik, hanya perbandingan dengan $\mu = 0,1$ yang mendekati. Perbedaan beban aksial yang dapat diterima *washer* pada defleksi 1,2 mm semakin membesar seiringnya nilai koefisien friksi bertambah.
6. Terdapat penurunan pada kurva beban-defleksi variasi *stacking* paralel di defleksi awal yang mengikuti pola *contact slip* antara permukaan atas *washer* dan permukaan bawah *washer*. *Contact slip* terjadi ketika pembebanan mulai diterapkan. *Washer* paling atas akan mengalami *contact slip* terbesar pada keliling dalam dan luar permukaan bawah *washer*. *Contact slip* juga dapat menciptakan goresan pada *base washer* seperti pelat baja.
7. Hasil beban aksial yang dapat diterima Belleville *spring washer* meningkat sesuai bertambahnya jumlah *washer* yang tersusun secara paralel berdasarkan hasil analisis numerik variasi *stacking*. Hal ini membuktikan bahwa *stacking* paralel pada Belleville *spring washer* memperbesar *spring constant* atau kekakuannya. Hasil dari persamaan DIN 2092 variasi *stacking* paralel juga mendekati hasil analisis numerik variasi *stacking* paralel sehingga persamaan dapat dipakai untuk kalkulasi *stacking* paralel Belleville *spring washer*.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapatkan beberapa saran sebagai berikut:

1. Persamaan DIN 2092 dapat dipakai sebagai estimasi beban aksial yang dapat diterima Belleville *spring washer* pada defleksi tertentu dengan syarat defleksi tidak melebihi 30% dari tinggi bebas *washer* ($0,3 h_0$). Setelah mendapatkan hasil beban tersebut, maka dapat dihitung kekakuan kompresi Belleville *spring washer* dalam bentuk *spring constant*.
2. Perlu dilakukan kajian lebih terkait pentingnya pengaruh friksi terkait kekakuan Belleville *spring washer* karena persamaan DIN 2092 dengan friksi hanya berlaku pada koefisien friksi di bawah 0,1 ($\mu = 0,1$).
3. Pemakaian *stacking* paralel dalam susunan konfigurasi Belleville *spring washer* menjadi rekomendasi untuk meningkatkan beban aksial yang dapat diterima Belleville *spring washer* dan kekakuannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Almen, J.O. dan Laszlo, A. (1936), "The Uniform-Section Disk Spring", ASME 58, Detroit, Michigan, USA
- American Institute of Steel Construction: ANSI/AISC 360-16 (2016), "Specification for Structural Steel Buildings", American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA
- American Iron and Steel Institute (2021). *Sustainability of the American Steel Industry*, AISI, (<https://www.shortspansteelbridges.org/sustainable-steel/>, diakses 25 Februari 2023)
- Barenbak, Jacques (2012). "Evaluation Tightening Preloaded Bolt Assemblies According to EN 1090-2", *Delft University of Technology*, Delft, Netherlands
- Barett, Richard T. (1990), "NASA Fastener Design Manual", Lewis Research Center, Cleveland, Ohio, USA
- Bhamore, Ritika dan Sahu, Purushottam Kumar (2019), "Review Paper On Belleville Spring Through Numerical And Simulation Approach", *International Research Journal of Engineering and Technology*, Indore, USA
- Childs, Peter R.N. (2019), *Mechanical Design Engineering Handbook*, Second Edition. *Butterworth-Heinemann*, Oxford, England
- Deutsches Institut für Normung: DIN 2092 (2006), "Disc Springs Calculation", Deutsches Institut für Normung, Berlin, Germany
- Deutsches Institut für Normung: DIN 2093 (2006), "Disc Springs Dimensions and Quality Specifications", Deutsches Institut für Normung, Berlin, Germany
- Desai, C.S. dan Abel, J.F. (1972). *Introduction to The Finite Element Method : A Numerical Method for Engineering Analysis*. *Van Nostrand Reinhold Company Regional Offices*, New York, USA
- Ferrari, Giammarco (2013), "A New Calculation Method for Belleville Disc Springs with Contact Flats and Reduced Thickness", *International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering*, Massa, Italy
- Kumar, Chethan et. all. (2021), "Experimental analysis on stacking of Belleville spring", *Department of Mechanical Engineering, CMR Institute of Technology*, Bengaluru, India
- Manduka, A., Gubeljak, N., Predan, J., dan Pinteric, M. (2014), "Improving Belleville Washer Spring Characteristics Using Elastomer Filling", *Journal of Testing and Evaluation*, West Conshohocken, USA

- Nijgh, Martin Paul (2016), “Loss of Preload in Pretensioned Bolts”, *Delft University of Technology*, Delft, Netherlands
- Rahardjo, P.P. & Alvi, S.D. (2019). Metode Elemen Hingga untuk Analisis Geoteknik. *Universitas Katolik Parahyangan*, Bandung, Indonesia
- Schnorr, Adolf (2016), “Handbook for Disc Springs”, *Hela Werbung*, Heilbronn, Germany
- Seif, Mina et al. (2016). “Finite Element Modeling of Structural Steel Component Failure at Elevated Temperatures”, *National Institute of Standards and Technology (NIST)*, Gaithersburg, USA
- Segui, William T. (2007). Steel Design, Fourth Edition. *University of Memphis*, Memphis, USA