

Pengendalian Penumpukan Toleransi Komponen Rakitan menggunakan Metode Charting

Bani Wijaya¹, Isa Setiasyah Toha²

Jurusan Teknik Manufaktur

Politeknik Manufaktur Negeri Bandung

Jl Kanayakan No. 21 – Dago, Bandung - 40135

Phone/Fax : 022. 250 0241 / 250 2649

email: baniwijaya16@gmail.com¹, isa_st@polman-bandung.ac.id²

Abstrak

Target utama dari sebuah proses permesinan adalah menghasilkan benda kerja (komponen) yang sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan oleh perancang, seperti: material, geometri, dimensi, dan toleransi yang diperlukan. Salah satu spesifikasi yang penting untuk dikendalikan adalah dimensi dan toleransi. Dimensi dan toleransi sangat erat kaitannya dengan ketercapaian fungsi dari suatu komponen yang dirakit. Oleh karena itu pemberian toleransi pada dimensi menjadi faktor utama yang menentukan ketercapaian fungsi yang diinginkan oleh seorang perancang. Pemberian toleransi dengan metode yang biasa dilakukan (toleransi umum/sedang-halus-kasar, toleransi khusus, toleransi suaian) tidak akurat untuk bentuk dan orientasi yang rumit. Tanpa disadari pemberian toleransi tanpa analisa lebih lanjut dapat menyebabkan penumpukan toleransi (*stack tolerance*) yang sering kali menyebabkan ketidaktercapaian dimensi yang diinginkan. Oleh karena itu penumpukan toleransi harus dikendalikan. Penelitian ini mengembangkan analisa penumpukan toleransi komponen rakitan menggunakan metode *charting* yang dinyatakan pada aplikasi komputer dan dilengkapi dengan usulan perbaikan, sehingga analisa penumpukan toleransi dan perbaikan dapat dilakukan dengan cepat, tepat dan akurat.

Kata kunci: *dimensi, toleransi, penumpukan toleransi, metode charting*

1. Pendahuluan

Target utama dari sebuah proses permesinan adalah menghasilkan benda kerja (komponen) yang sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan oleh perancang, seperti: material, geometri, dimensi, dan toleransi yang diperlukan. Salah satu spesifikasi yang penting untuk dikendalikan adalah dimensi dan toleransi. Dimensi dan toleransi sangat erat kaitannya dengan ketercapaian fungsi dari suatu komponen yang dihasilkan. Oleh karena itu pemberian toleransi pada dimensi menjadi faktor utama yang menentukan ketercapaian fungsi yang diinginkan oleh seorang perancang [1]. Pemberian toleransi dengan metode yang biasa dilakukan (toleransi umum/sedang-halus-kasar, toleransi khusus, toleransi suaian) tidak akurat untuk bentuk dan orientasi yang rumit [2].

Tanpa disadari pemberian toleransi tanpa analisa lebih lanjut dapat menyebabkan penumpukan toleransi (*stack tolerance*) yang sering kali menyebabkan ketidaktercapaian dimensi yang diinginkan. Oleh karena itu penumpukan toleransi harus dikendalikan. Penelitian ini mengembangkan analisa

penumpukan toleransi komponen rakitan menggunakan metode *charting* yang dinyatakan pada aplikasi komputer dan dilengkapi dengan usulan perbaikan, sehingga analisa penumpukan toleransi dan perbaikan dapat dilakukan dengan cepat, tepat dan akurat. Batasan masalah kajian yang dilakukan meliputi: analisa penumpukan toleransi menggunakan metode *charting* [1], pemilihan mesin sesuai dengan kemampuan untuk memenuhi toleransi desain sudah dilakukan. Pengujian dilakukan di Politeknik Manufaktur Negeri Bandung.

Pengendalian penumpukan toleransi berdasarkan analisa toleransi telah dilakukan oleh beberapa peneliti lain dengan berbagai metode. Zhang melakukan analisa berdasarkan empat metode: *Worst Case Analysis*, *Statistical Tolerance Analysis (RSS)*, *concurrent tolerancing for accuracy & cost*, *optimal tolerance design*. Metode *Worst Case Analysis* dapat dilakukan dengan metode *charting*. Metode-metode tersebut dapat digunakan untuk mendapatkan rancangan toleransi optimal untuk mendapatkan harga terendah dari proses permesinan [1]. Pawar mengemukakan enam metode analisa, yaitu: *Worst*

Case Analysis, Statistical Tolerance Analysis (RSS), sensitivity analysis, computer aided tolerancing, cost-based optical tolerance analysis, consult standard tolerance analysis. Metode–metode tersebut dapat digunakan untuk mendapatkan rancangan toleransi yang optimal untuk pengembangan *computer aided tolerancing* & rancangan toleransi optimal untuk mendapatkan harga terendah dari proses permesinan [3]. Sahani melakukan analisa berdasarkan dua metode: *worst case analysis* dan *root sum of square* yang bertujuan untuk mendapatkan rancangan toleransi optimal dengan harga terendah dari proses permesinan [2].

Pathak mengemukakan analisa berdasarkan empat metode: *Worst Case Analysis, Statistical Tolerance Analysis (RSS), Six Sigma* dan *Measured Data*. Metode *Statistical Tolerance Analysis (RSS)* dapat dibagi menjadi beberapa metode lanjut. Penggunaan metode–metode tersebut bertujuan untuk mendapatkan rancangan toleransi yang optimal. Keempat peneliti tersebut berupaya untuk mendapatkan rancangan toleransi komponen yang memenuhi fungsi produk, dan selalu diawali dengan menggunakan metode *Worst Case Analysis* [4].

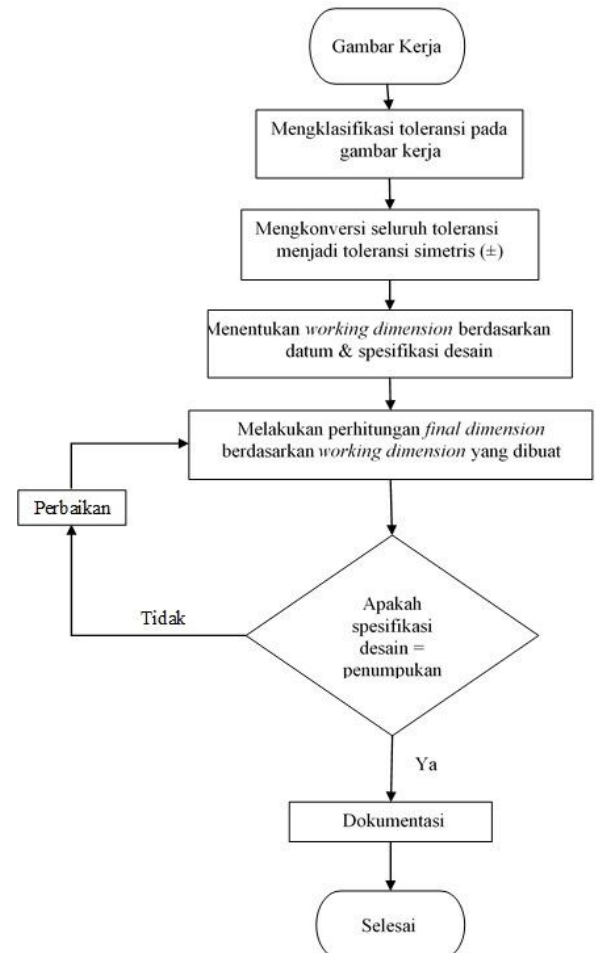
Peneliti	Metode Yang digunakan	Tujuan
Zhang, 1997	Worst Case Analysis - Root Sum Square (RSS) Worst Case Analysis - Concurrent Tolerancing for Accuracy & Cost Worst Case Analysis - Optimal Tolerance Design	Rancangan toleransi optimal untuk mendapatkan harga terendah dari proses permesinan.
Pawar, et al., 2011	Worst Case Analysis - Root Sum Square (RSS) Worst Case Analysis - Computer Aided tolerancing Worst Case Analysis - Cost-based optical tolerance analysis	Rancangan toleransi yang optimal untuk pengembangan <i>computer aided tolerancing</i> & rancangan toleransi optimal untuk mendapatkan harga terendah dari proses permesinan.
Sahani, et al., 2014	Worst Case Analysis - Root Sum Square (RSS)	Rancangan toleransi optimal dengan harga terendah dari proses permesinan
Pathak, et al., 2014	Worst Case Analysis - Root Sum Square (RSS) Worst Case Analysis - Six Sigma	Rancangan toleransi optimal.

Tabel 1. Tabel tinjauan litelatur.

2. Metodologi dan Model Penelitian

Dalam mengembangkan pengendalian penumpukan toleransi pada penelitian ini, konsep yang digunakan adalah metode *Worst Case Analysis* dan *Charting* dari Zhang [1]. Karena umumnya gambar kerja melibatkan berbagai jenis toleransi (toleransi

umum/sedang-halus-kasar, toleransi khusus, toleransi suaian), maka langkah awal pengembangan model diawali dengan klasifikasi toleransi. Secara keseluruhan model pengendalian penumpukan toleransi ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir pengembangan model pengendalian penumpukan toleransi.

Dimensi nominal total adalah penjumlahan dari masing-masing dimensi nominal parsial, dimensi nominal parsial perbaikan adalah dimensi nominal total dikurangi dimensi nominal parsial lain. Nilai toleransi penumpukan sama dengan hasil penjumlahan nilai toleransi masing-masing. Nilai toleransi perbaikan sama dengan hasil pengurangan nilai toleransi total dikurangi dengan salah satu/lebih dimensi toleransi parsial. Dimensi nominal total dan parsial dapat menjadi *working dimension* atau *final dimension* sesuai dengan kondisi urutan pengerjaan.

Dari penelitian yang dilakukan didapatkan model perhitungan penumpukan toleransi

menggunakan metode *charting* disertai dengan usulan perbaikan sebagai berikut.

2.1 Nilai Penumpukan Toleransi

Nilai penumpukan toleransi dapat dikategorikan menjadi dua, yakni:

- a. Nilai penumpukan toleransi pada dimensi total.

Nilai penumpukan toleransi dimensi total dapat dihitung dengan cara menjumlahkan seluruh dimensi nominal parsial untuk mendapatkan dimensi nominal total & menjumlahkan seluruh nilai toleransi parsial untuk mendapatkan nilai toleransi penumpukan.

$$P_t = N_t \pm T_t$$

$$N_t = N_{p1} + N_{p2} + \dots + N_{pN}$$

$$T_t = T_{p1} + T_{p2} + \dots + T_{pN}$$

Keterangan :

P_t = nilai penumpukan toleransi total.

N_t = dimensi nominal total.

T_t = nilai toleransi penumpukan total.

N_{p1} = dimensi nominal parsial ke - 1.

T_{p1} = nilai toleransi parsial ke - 1.

- b. Nilai penumpukan toleransi pada dimensi parsial.

Nilai penumpukan toleransi pada dimensi parsial dapat dihitung dengan cara mengurangi dimensi nominal total dengan salah satu/lebih dimensi nominal parsial untuk mendapatkan dimensi nominal parsial & menjumlahkan seluruh nilai toleransi parsial lain dan nilai toleransi total untuk mendapatkan nilai toleransi penumpukan.

$$P_p = N_p \pm T_p$$

$$N_p = N_t - (N_{p1} + N_{p2} + \dots + N_{pN})$$

$$T_p = T_t + T_{p1} + T_{p2} + \dots + T_{pN}$$

Keterangan :

P_p = nilai penumpukan toleransi parsial.

N_p = dimensi nominal parsial.

N_{p1} = dimensi nominal parsial ke - 1.

T_p = nilai toleransi penumpukan parsial.

T_{p1} = nilai toleransi parsial ke - 1.

N_t = dimensi nominal total.

T_t = nilai toleransi total.

2.2 Perbaikan Penumpukan Toleransi

Setelah nilai penumpukan toleransi dihitung, selanjutnya membandingkan antara nilai penumpukan yang didapat dengan spesifikasi desain. Jika nilai penumpukan tidak sesuai dengan spesifikasi desain, maka harus dilakukan perbaikan. Usulan perbaikan dilakukan dengan mengubah dimensi nominal dan/atau toleransi total atau mengubah dimensi nominal dan/atau toleransi parsial.

- a. Perbaikan dimensi nominal dan/atau toleransi total.

Dilakukan dengan cara mengganti dimensi nominal dan/atau toleransi total spesifikasi desain dengan dimensi nominal dan/atau toleransi total penumpukan yang dapat dihitung berdasarkan persamaan (1),(2),(3).

- b. Perbaikan dimensi nominal dan/atau toleransi parsial.

Dilakukan dengan cara mengurangi dimensi nominal dan toleransi total dengan dimensi nominal dan toleransi parsial terkait.

$$P'_p = N'_p \pm T'_p$$

$$N'_p = N_t - (N_{p1} + N_{p2} + \dots + N_{pN})$$

$$T'_p = T_t - (T_{p1} + T_{p2} + \dots + T_{pN})$$

Keterangan :

P'_p = nilai perbaikan toleransi parsial.

N'_p = dimensi nominal parsial.

N_{p1} = dimensi nominal parsial ke - 1.

T'_p = nilai toleransi perbaikan parsial.

T_{p1} = nilai toleransi parsial ke - 1.

N_t = dimensi nominal total.

T_t = nilai toleransi penumpukan total.

Jika nilai toleransi parsial/penjumlahan nilai toleransi parsial lebih besar dari nilai toleransi total, maka:

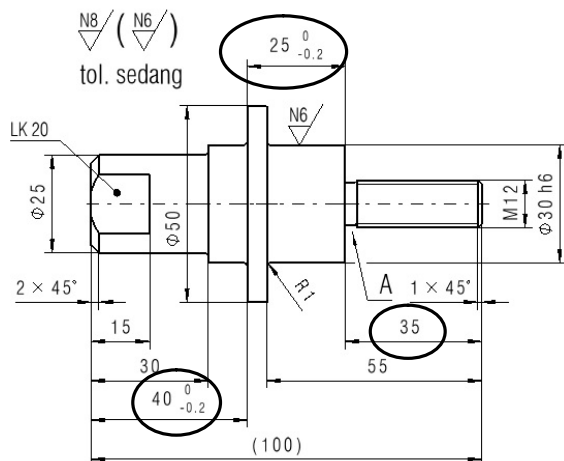
- a. Perbaikan dilakukan pada dimensi nominal dan/atau toleransi total seperti pada poin 2.2.a menggunakan persamaan (1),(2),(3).
- b. Perbaikan dilakukan dengan cara mengubah nilai toleransi parsial/penjumlahan nilai toleransi parsial menjadi lebih kecil dari nilai toleransi total secara manual. Selanjutnya perbaikan dimensi nominal dan/atau toleransi parsial dilakukan seperti poin 2.2.b menggunakan persamaan (7),(8),(9).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Uji coba & analisa

Uji coba dilakukan pada poros knob dengan dimensi nominal yang berpengaruh terhadap fungsi yakni: 40mm dengan toleransi 0/-0.2 dan 25mm dengan toleransi 0/-0.2mm. Diawali dengan menghitung nilai penumpukan toleransi, selanjutnya dilakukan pengujian dengan membandingkan nilai penumpukan toleransi dengan spesifikasi desain.

a. Pengujian



Gambar 2. Gambar porosknob.

*Dimensi dalam satuan mm

Data input berupa dimensi nominal serta nilai toleransi dimensi terkait dengan toleransi sedang yakni: 35±0.3, 120±0.3. Dimensi nominal serta nilai toleransi dimensi dengan

toleransi khusus, yakni: 40mm dengan toleransi 0/-0.2 dan 25mm dengan toleransi 0/-0.2mm. Hasil data input pada aplikasi komputer diperlihatkan pada Gambar 3.

Ukuran Total	Spesifikasi Desain	Penumpukan Tol	Keterangan
100	0.300 0.300		
Tol.Umum			
Tol.Khusus			
Suaian			
+ 39.9 0.100 / 0.100 + 24.9 0.100 / 0.100 + 35 0.300 / 0.300			
Tol.Umum			
Tol.Khusus			
Suaian			
Batas Atas 100.300 Penumpukan Tol 0.000 Keterangan TIDAK SESUAI			
Batas bawah 99.700 Penumpukan Tol 0.000 Keterangan TIDAK SESUAI			

Gambar 3. Tampilan data input.

Berdasarkan persamaan (1),(2),(3), penumpukan toleransi pada dimensi total dapat dihitung dengan cara menekan tombol bandingkan. Hasilnya terlihat pada Gambar 4.

Ukuran Total	Spesifikasi Desain	Penumpukan Tol	Keterangan
100	0.300 0.300	99.8 0.500 0.500	
Tol.Umum			
Tol.Khusus			
Suaian			
+ 39.9 0.100 / 0.100 + 24.9 0.100 / 0.100 + 35 0.300 / 0.300			
Tol.Umum			
Tol.Khusus			
Suaian			
Batas Atas 100.300 Penumpukan Tol 100.300 Keterangan Sesuai			
Batas bawah 99.700 Penumpukan Tol 99.300 Keterangan TIDAK SESUAI			

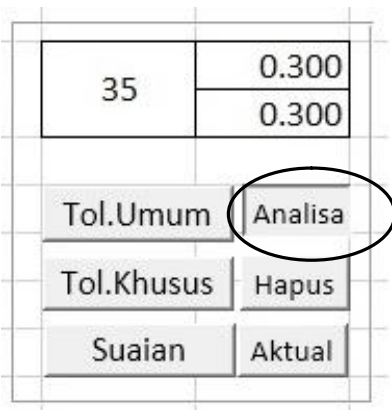
Gambar 4. Hasil perhitungan Penumpukan toleransi.

Gambar 3 menunjukkan nilai penumpukan toleransi tidak sesuai/keluar dari spesifikasi desain, sehingga harus dilakukan perbaikan pada dimensi nominal dan/atau toleransi total atau pada dimensi nominal dan/atau toleransi parsial.

b. Perbaikan

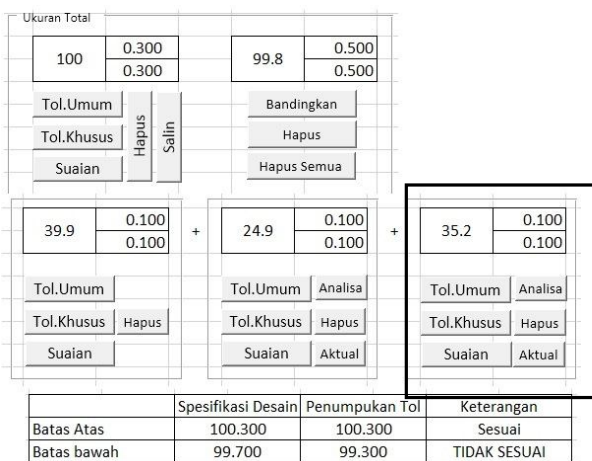
Perbaikan yang dapat dilakukan yakni mengubah dimensi nominal dan/atau toleransi total atau dimensi nominal dan/atau toleransi parsial. Jika yang diperbaiki adalah dimensi nominal dan/atau toleransi total, maka dapat dilakukan dengan cara mengganti dimensi nominal dan/atau toleransi total spesifikasi desain dengan dimensi nominal dan/atau toleransi total penumpukan yang dapat dihitung berdasarkan persamaan (1),(2),(3).

Pada contoh kasus ini perbaikan yang dilakukan pada dimensi nominal dan/atau toleransi parsial 35 ± 0.3 . Perbaikan dapat dilakukan dengan menekan tombol analisa untuk melakukan perhitungan berdasarkan persamaan (7),(8),(9), diperlihatkan pada Gambar 5.



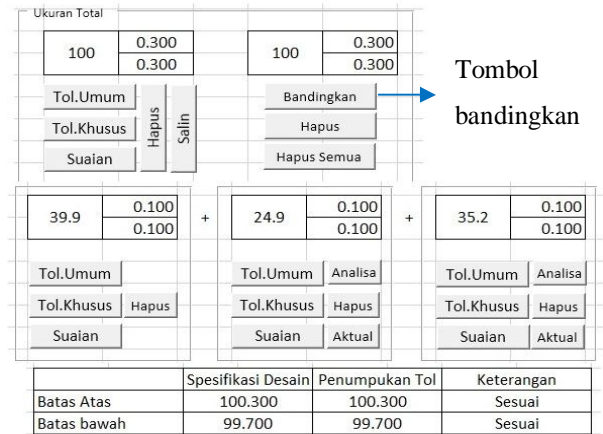
Gambar 5. Tombol analisa.

Hasil perbaikan dapat terlihat pada Gambar 6, yakni perubahan dimensi nominal dan toleransi parsial 35 ± 0.3 menjadi 35.2 ± 0.1 .



Gambar 6. Hasil perbaikan dimensi nominal dan toleransi parsial 35 ± 0.3 .

Selanjutnya dilakukan pengecekan ulang apakah hasil penumpukan toleransi perbaikan sesuai dengan spesifikasi desain. Pengecekan dilakukan dengan cara menekan tombol bandingkan untuk melakukan perhitungan ulang penumpukan toleransi pada dimensi total berdasarkan persamaan (1),(2),(3). Hasilnya terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Pengecekan ulang nilai penumpukan terhadap spesifikasi desain.

Setelah dilakukan pengecekan ulang yang terlihat seperti Gambar 7, terbukti bahwa hasil perbaikan dimensi nominal dan toleransi parsial 35 ± 0.3 menjadi 35.2 ± 0.1 dapat memenuhi spesifikasi desain.

4. Kesimpulan

Dari pengembangan model & uji coba yang dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Analisa penumpukan toleransi penting dilakukan untuk mencapai fungsi suatu komponen pada rakitan.
2. Dengan aplikasi analisa penumpukan toleransi, nilai penumpukan toleransi yang tidak memenuhi spesifikasi desain lebih mudah terdeteksi.
3. Pengembangan model analisa penumpukan toleransi yang dilakukan dilengkapi dengan usulan perbaikan dimensi nominal dan toleransi.
4. Aplikasi komputer analisa penumpukan toleransi dapat memudahkan perhitungan & perbaikan penumpukan toleransi fungsional komponen suatu produk secara cepat, tepat & akurat, sehingga ketidaktercapaian fungsi

suatu produk yang diakibatkan penumpukan toleransi dapat dihindari.

5. Daftar Pustaka

- [1] Zhang, H. C., “Advances Tolerancing Techniques : Stack Tolerance”, (1997) John Wiley and Sons, New York
- [2] Sahani, A.K., Jain, P.K., Sharma, S.C. dan Bajpai, J.K., “Design Verification Through Tolerance Stack Up Analysis of Mechanical Assembly and Least Cost Tolerance Allocation”, (2014), Dalam *Proceedings of the 3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation (ICMPC 2014)*.
- [3] Pawar, S. Y., Chavan, H. A. dan Chavan, S. P., “Tolerance Stack Up Analysis and Simulation Using Visualization VSA”, (2011), Dalam *Proceedings of the International Journal of Advanced Engineering Technology (IJAET 2011)*.
- [4] Pathak, V.K. dan Singh, A.K., “A Comparative Study of Tolerance Stack Up Analysis Techniques”, (2014), Dalam *Proceedings of the International Colloquium on Materials, Manufacturing and Metrology (ICMM 2014)*.