

ANALISIS LANJUTAN TERHADAP ISO 1101 PADA BAGIAN KERATAAN PERMUKAAN

Advanced Analysis for ISO 1101 on Surface Flatness

Jimmy Pusaka

Puslit KIM-LIPI

e-mail: j_pusaka@kim.lipi.go.id

Diajukan: 16 Januari 2012, Dinilakan: 9 Februari 2012, Diterima: 27 Februari 2012

Abstrak

Di satu sisi sejumlah standar yang beredar bagi suatu perangkat kerja metrologi, termasuk untuk meja rata, membahas secara terperinci tentang toleransi bagi perangkat kerja tersebut, tetapi metode analisis tentang penyimpangannya amat minim. Di sisi lain, terdapat beberapa analisis penyimpangan dari kondisi ideal yang cukup mendalam, seperti untuk toleransi kelurusan. Untuk mendalami metode analisis penyimpangan kerataan bagi meja rata, dalam makalah ini dibahas adopsi metode analisis penyimpangan kelurusan untuk diterapkan pada pengukuran kerataan meja rata. Diperoleh jawaban bahwa metode-metode analisis tersebut memberi hasil yang berbeda satu sama lain. Dengan menggunakan metode distorsi sederhana yang kemudian diverifikasi dengan menggunakan data tipikal, diperoleh metode analisis penyimpangan kerataan permukaan yang baik.

Kata kunci: kerataan, meja rata, metode moody

Abstract

On one hand a number of standards for metrological equipment, including those for surface plates, describe tolerance assignment for the particular item in detail, however the analysis method for deviation of the item is not sufficiently explained. There are some in-depth methods for analysing deviation from the ideal condition, such as those for straightness tolerance. On the other hand, to explore flatness error analysis methods for surface plates, this paper describes the adoption of straightness error analysis methods for flatness measurement. It yields that they give different results from one to another. By using a simple distortion method which then verified with a series of typical data, it results in proper surface flatness error analysis methods.

Keywords: flatness, surface plate, moody method

1. PENDAHULUAN

Meja rata sudah sangat lama dikenal dan digunakan sebagai dudukan acuan bagi pengukuran berbasis besaran panjang. Sejumlah lembaga standar telah merumuskan toleransinya seperti JIS, DIN, BS, dan ISO. Pada umumnya standar-standar ini menyampaikan tentang struktur rancangan, kelas kerataan, dan toleransi yang diizinkan ketika terjadi penyimpangan dari spesifikasi idealnya. Semakin baik kelasnya semakin kecil toleransinya. Namun standar-standar ini tidak atau sangat sedikit mengupas tentang metode pengukuran yang disarankan, dan cara-cara melakukan analisis data meja rata tersebut.

Tidak seperti bagi *optical flat* atau *optical parallel* di mana pengukuran kerataannya dapat menggunakan cara-cara interferometri, bagi meja rata metode yang digunakan adalah pengukuran kelurusan sejumlah garis lintasan pada permukaan meja yang secara kelompok

dianggap merepresentasikan kerataan permukaannya. Tentu saja keterwakilan besaran dua dimensi oleh (sejumlah) besaran satu dimensi terhalang oleh keterbatasan. Selain pengukuran tidak tertuju secara langsung pada besaran ukur, cakupannya juga tidak menyeluruh. Namun sejauh ini belum ada metode baru yang lebih baik, sehingga metode pengukuran ini masih terus dipertahankan.

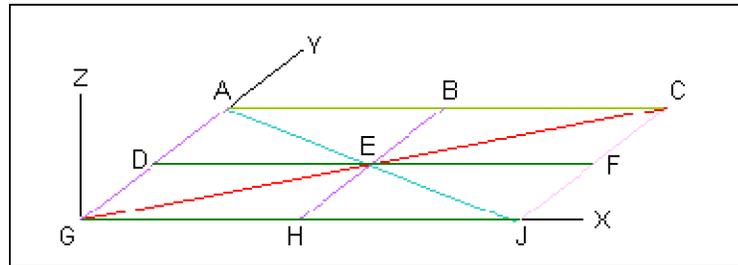
Dalam dunia pengukuran meja rata dikenal dua pola garis lintasan, yakni jaring (*grid*) dan *moody* (yang juga populer dengan sebutan *union jack*). Pola jaring berbentuk garis-garis longitudinal dan transversal yang saling memotong tegak lurus sehingga menyerupai jaring yang memiliki cakupan yang baik terhadap permukaan meja yang diukur kerataannya. Sementara pola *moody* terdiri dari satu garis longitudinal dan satu garis transversal yang berpotongan tegak lurus di tengah bidang permukaan yang diukur, ditambah dengan sepasang garis diagonal yang saling berpotongan di titik yang sama, dan dua pasang

garis perimeter yang saling berpotongan tegak lurus di penghujung kedua garis diagonal tadi. Pola moody lebih sederhana, lebih cepat proses pengukurannya, dapat diperlakukan sebagai metode baku dan memberikan hasil yang baik.

ISO 1101 menerangkan tentang toleransi t yang diizinkan bagi terjadinya penyimpangan terhadap kerataan ideal, yakni sebuah zona 3 dimensi yang dibatasi oleh dua bidang sejajar yang mengapit permukaan ideal dan berjarak t satu sama lain. Namun studi yang mendalam tentang metode analisis data kerataan permukaan tidak cukup disinggung pada dokumen ini. Untuk itu dalam makalah ini, dengan mengambil studi kasus pola *moody*, dibahas tentang tiga metode analisis kerataan permukaan yakni metode titik ujung, metode "selubung", dan metode regresi, sehingga dapat ditentukan metode yang paling sesuai untuk pengukuran kerataan.

2. METODE ANALISIS DATA KERATAAN PERMUKAAN

$$\begin{bmatrix} z_A & z_B & z_C \\ z_D & z_E & z_F \\ z_G & z_H & z_J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & z_B - \frac{1}{2}z_A - \frac{1}{2}z_C & 0 \\ z_D - \frac{1}{2}z_A - \frac{1}{2}z_G & z_E - \frac{1}{2}z_C - \frac{1}{2}z_G & z_F + \frac{1}{2}z_A - \frac{1}{2}z_G - z_C \\ 0 & z_H + \frac{1}{2}z_A - \frac{1}{2}z_C - z_G & z_J + z_A - z_C - z_G \end{bmatrix} \quad (1)$$



Gambar 1 Metode Titik Ujung

Dengan mengasumsikan bahwa pengukuran telah dilakukan secara sempurna sehingga tidak dijumpai *closure error* baik pada garis DEF maupun BEH, hubungan matematik di atas divalidasi dengan memasukkan angka distorsi bernilai 1 pada berbagai kasus posisi yang memungkinkan, dan angka sempurna 0 pada posisi lainnya. Kasus posisi yang dipilih terdiri dari 120 kemungkinan, yang diambil dengan menentukan distorsi pada 1, 2, 3 dan 4

2.1 Metode Titik Ujung

Pada pengukuran kelurusan, metode titik ujung diartikan dengan penghubungan data ukur pertama dan terakhir memakai garis lurus yang kemudian diorientasikan secara horisontal. Garis hubung ini kemudian digeser ke titik data tertinggi dan terendah, dan jarak antara keduanya didefinisikan sebagai penyimpangan dari kelurusan.

Adopsi cara ini pada pengukuran kerataan adalah dengan mengambil tiga titik terluar pada geometri permukaan yang diukur, dan menghubungkannya dengan sebuah bidang yang kemudian diorientasi secara horisontal. Bidang hubung yang difungsikan sebagai acuan ini kemudian digeser ke titik data tertinggi dan terendah, dan jarak antara keduanya didefinisikan sebagai penyimpangan dari kerataan.

Implementasi metode ini pada pola *moody* dilakukan dengan menetapkan nilai 0 bagi tiga titik terluar, misalnya A, C, dan G (Gambar 1) yang setelah ditranslasi memberi nilai z bagi titik-titik potong lainnya sebagai berikut:

(dari 9) posisi, baik pada lokasi sudut, sisi, maupun sentral.

Dengan mengambil empat kombinasi dari tiga titik terluar yang berbeda, ternyata dari 120 kemungkinan di atas hanya 49 yang menghasilkan nilai sama bagi keempat kombinasi tersebut. Selebihnya mengalami perbedaan nilai penyimpangan kerataan antara 14% hingga bahkan 50% (data numerik pada Tabel 1 kolom 3 s.d. 7).

Tabel 1 Cuplikan Penyimpangan Nilai Kerataan Berdasarkan Distorsi Terpola

Titik distorsi	Kasus posisi	Titik Ujung					"Selubung"			Regresi
		ACG	ACJ	AGJ	CGJ	%	atas	bawah	%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	J	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0,5	0	0,5
2	A, E	2,5	2,0	2,0	2,0	20	1,96	1,96	0	1,17
2	A, J	1,5	1,0	1,0	1,0	33	0,99	0,99	0	0,75
3	A, B, F	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,32	1,25	5	1,25
3	A, C, E	3,0	3,5	3,0	3,0	14	2,86	2,86	0	1,67
3	B, F, G	2,0	1,0	1,5	2,0	50	0,99	0,99	0	1,08
4	A, B, F, G	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,32	1,16	12	1,24
4	A, E, F, H	2,5	3,0	3,0	2,0	33	1,33	1,96	32	1,49

2.2 Metode Selubung

Penamaan metode "selubung" belum pernah dilakukan sebelumnya. Penamaan ini diperkenalkan di sini berdasarkan zona toleransi kerataan yang berbentuk dua bidang sejajar yang mengapit atau menyelubungi permukaan yang diberi toleransi. Pada pengukuran kelurusan, metode selubung diartikan dengan pembuatan dua garis sejajar yang mengakomodasi semua titik data. Kedua garis sejajar ini kemudian diorientasikan sehingga jarak antara keduanya minimal. Jarak inilah yang didefinisikan sebagai penyimpangan dari kelurusan.

Adopsi cara ini pada pengukuran kerataan dapat dilakukan dengan mengambil tiga titik tertinggi dari data permukaan yang diukur dan

menghubungkannya dengan sebuah bidang (di mana bidang yang difungsikan sebagai acuan ini berdiri sedemikian sehingga semua titik data lainnya berada pada sisi yang sama dari bidang tersebut). Kemudian dipilih satu titik terendah dari data ukur, dan sebuah bidang yang sejajar dengan bidang pertama dibuat melalui titik terendah tersebut. Jarak antara kedua bidang inilah yang didefinisikan sebagai penyimpangan dari kerataan.

Implementasi metode ini pada pola *moody* dilakukan dengan membuat titik sentral E (Gambar 1) bernilai 0, kemudian kedua titik ujung tiap garis diagonal dibuat sama tingginya, yang setelah ditranslasi memberi nilai z bagi titik-titik potong lainnya sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} Z_A & Z_B & Z_C \\ Z_D & Z_E & Z_F \\ Z_G & Z_H & Z_J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}Z_A - Z_E + \frac{1}{2}Z_I & -\frac{1}{4}Z_A + Z_B - \frac{1}{4}Z_C - Z_E + \frac{1}{4}Z_G + \frac{1}{4}Z_I & \frac{1}{2}Z_C - Z_E + \frac{1}{2}Z_G \\ -\frac{1}{4}Z_A + \frac{1}{4}Z_C + Z_D - Z_E - \frac{1}{4}Z_G + \frac{1}{4}Z_I & 0 & \frac{1}{4}Z_A - \frac{1}{4}Z_C - Z_E + Z_F + \frac{1}{4}Z_G - \frac{1}{4}Z_I \\ \frac{1}{2}Z_C - Z_E + \frac{1}{4}Z_G & \frac{1}{4}Z_A + \frac{1}{4}Z_C - Z_E - \frac{1}{4}Z_G + Z_H - \frac{1}{4}Z_I & \frac{1}{2}Z_A - Z_E + \frac{1}{2}Z_I \end{bmatrix} \quad (2)$$

Validasi bagi metode ini dengan menggunakan cara dan angka distorsi yang sama seperti bagi metode titik ujung menghasilkan perbedaan nilai penyimpangan kerataan berbasis bidang acuan atas (yang dibentuk oleh tiga titik tertinggi) dan yang berbasis bidang acuan bawah antara 0% hingga 32% (Tabel 1 kolom 8 s.d. 10). Secara absolut nilai penyimpangan kerataan yang dihasilkan umumnya lebih kecil dibandingkan dengan metode titik ujung.

garis lurus, dikembangkan untuk data kerataan permukaan.

Apabila persamaan umum bidang diambil $z = \alpha \cdot x + \beta \cdot y + \gamma$, maka untuk keperluan regresi planar persamaan ini dapat ditulis menjadi $\alpha \cdot x_i + \beta \cdot y_i - z_i + \gamma = \epsilon_i$, dengan x_i , y_i , dan z_i masing-masing adalah koordinat titik data, dan ϵ_i adalah selisih nilai antara suatu data dengan angka idealnya. Kemudian dengan metode kuadrat terkecil ditetapkan nilai $P = \sum(\alpha \cdot x_i + \beta \cdot y_i - z_i + \gamma)^2$, lalu dengan menyelesaikan $dP/d\alpha = dP/d\beta = dP/d\gamma = 0$ diperoleh hubungan berikut (dengan menghapuskan indeks i):

2.3 Metode Regresi Planar

Metode regresi linier yang biasa digunakan untuk mencari pendekatan terbaik bagi sekumpulan data yang secara ideal diekspektasi membentuk

$$\alpha = \frac{(n\sum yz - \sum y \sum z)(\sum x \sum y - n\sum xy) - (n\sum xz - \sum x \sum z) [(\sum y)^2 - n\sum y^2]}{[(\sum x)^2 - n\sum x^2][(\sum y)^2 - n\sum y^2] - (\sum x \sum y - n\sum xy)^2} \dots\dots\dots(3)$$

$$\beta = \frac{(n\sum xz - \sum x \sum z)(\sum x \sum y - n\sum xy) - (n\sum yz - \sum y \sum z) [(\sum x)^2 - n\sum x^2]}{[(\sum x)^2 - n\sum x^2][(\sum y)^2 - n\sum y^2] - (\sum x \sum y - n\sum xy)^2} \dots\dots\dots(4)$$

$$\gamma = \frac{-(\alpha\sum x + \beta\sum y - \sum z)}{n} \dots\dots\dots(5)$$

dengan n adalah banyaknya titik data yang diambil

Nilai penyimpangan kerataan permukaan dihitung berdasarkan jumlah jarak dari titik tertinggi ke bidang regresi dan dari titik terendah ke bidang tersebut. Dengan memasukkan angka distorsi yang sama seperti sebelumnya, metode regresi menghasilkan nilai penyimpangan kerataan (Tabel 1 kolom 11) yang umumnya lebih kecil dari metode titik ujung, dan dapat lebih kecil atau sepadan dengan metode selubung.

3. DATA PENELITIAN

Pada kenyataannya jumlah titik ukur yang diambil datanya jauh melampaui 9 posisi. Selain itu angka distorsi yang terjadi juga sangat bervariasi baik ke arah positif maupun negatif. Tabel 2 memperlihatkan data tipikal pengukuran kerataan dengan pola *moody*. Untuk memverifikasi hasil yang diperoleh pada butir 2, kali ini respon ketiga metode diperbandingkan dengan menggunakan data tipikal ini, sementara skema data ukurnya diperlihatkan pada Gambar 2 hingga 5.

Tabel 2. Data Pengukuran Kerataan Tipikal

Posisi	C	Diagonal																		G	
x	8	7,6	7,2	6,8	6,4	6	5,6	5,2	4,8	4,4	4	3,6	3,2	2,8	2,4	2	1,6	1,2	0,8	0,4	0
y	6	5,7	5,4	5,1	4,8	4,5	4,2	3,9	3,6	3,3	3	2,7	2,4	2,1	1,8	1,5	1,2	0,9	0,6	0,3	0
z*	72	57	33	19	-1	-12	-20	-9	3	17	32	47	62	63	54	48	35	27	17	9	-5
z	2	-10	-30	-40	-56	-63	-67	-53	-37	-19	0	19	38	43	37	35	26	22	16	12	2
Posisi	A	Diagonal																		J	
x	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4	4,4	4,8	5,2	5,6	6	6,4	6,8	7,2	7,6	8
y	6	5,7	5,4	5,1	4,8	4,5	4,2	3,9	3,6	3,3	3	2,7	2,4	2,1	1,8	1,5	1,2	0,9	0,6	0,3	0
z*	8	2	-15	-25	-37	-46	-56	-62	-73	-81	-91	-101	-108	-118	-121	-130	-133	-137	-137	-138	-140
z	25	26	17	14	10	8	5	7	3	3	0	-3	-2	-5	0	-2	2	6	13	20	25
Posisi	C	Perimeter (belakang)																		A	
x	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0				
y	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6				
z*	0	1	3	5	6	9	13	18	23	28	34	43	51	59	69	82	95				
z	2	-2	-4	-7	-10	-12	-12	-12	-11	-11	-9	-5	-1	2	8	16	25				
Posisi	F	Longitudinal (tengah)																		D	
x	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0				
y	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
z*	42	37	30	24	12	5	-3	-14	-21	-16	-9	-16	0	9	15	23	33				
z	48	45	40	36	25	20	14	5	0	7	16	11	29	40	47	57	69				
Posisi	J	Perimeter (depan)																		G	
x	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0				
y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				

z*	-1	-1	-2	-4	-6	-8	-11	-15	-21	-28	-36	-46	-46	-58	-71	-82	-95
z	25	29	33	35	38	40	41	42	40	38	34	28	33	25	17	10	2

Posisi	A	Perimeter (kiri)										G
x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y	6	5,4	4,8	4,2	3,6	3	2,4	1,8	1,2	0,6	0	0
z*	-63	-47	-29	-5	23	51	73	87	75	66	53	0
z	25	27	31	41	55	69	77	77	51	28	2	0

Keterangan:

z* = data ukur mentah

z = data ukur terkoreksi bagi metode selubung dan metode regresi

Posisi	B	Transversal (tengah)										H
x	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
y	6	5,4	4,8	4,2	3,6	3	2,4	1,8	1,2	0,6	0	0
z*	-23	-17	-5	-7	-12	-16	-14	-5	7	16	20	0
z	-11	-4	9	7	3	0	3	13	26	35	40	0

Posisi	C	Perimeter (kanan)										J
x	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
y	6	5,4	4,8	4,2	3,6	3	2,4	1,8	1,2	0,6	0	0
z*	-3	-12	-19	-25	-29	-33	-35	-48	-68	-99	-132	0
z	2	8	16	25	37	48	61	63	59	43	25	0

Berdasarkan metode titik ujung, nilai penyimpangan kerataan terbaik (terkecil) ϵ_F dari empat kemungkinan adalah 128. Kasus ini berlaku bila $z_A = z_C = z_J = 0$, sehingga diperoleh $T_1(8; 2,4; 45)$ dan $R_1(5,6; 4,2; -83)$ berturut-turut sebagai titik tertinggi dan terendah.

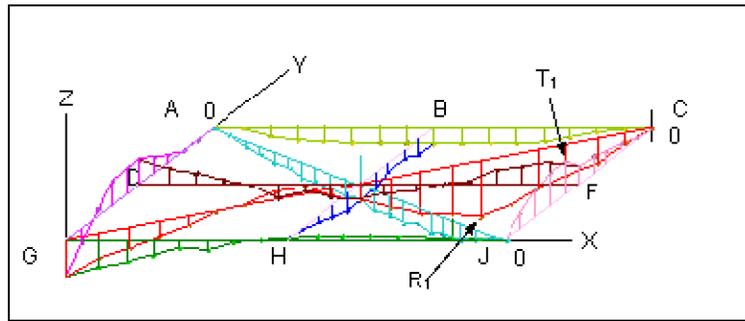
Pada kedua metode lainnya dibuat $z_A = z_J$, dan $z_C = z_G$, serta $z_E = 0$. Selanjutnya, pada metode selubung, nilai penyimpangan kerataan terbaik adalah 9. Kasus ini berlaku dengan menggunakan bidang acuan bawah $z = \alpha \cdot x + \beta \cdot y + \gamma$ di mana $\alpha = -6,7$, $\beta = 22,6$, dan $\gamma = -124,8$ yang melalui $R_1(5,6; 4,2; -67)$ (sebagai titik

terendah), $R_2(6; 4,5; -63)$ (di mana $\nabla R_2 R_1$ minimal), dan $R_3(3; 6; -9)$ (di mana $\nabla R_3 R_1$ minimal dan $\nabla R_3 R_2$ minimal, dan memenuhi $\alpha \cdot x_{P_i} + \beta \cdot y_{P_i} - z_{P_i} + \gamma < 0$ (atau > 0) \forall titik data P_i). Titik terjauh terhadap bidang acuan ini adalah $T_1(8; 1,2; 58)$.

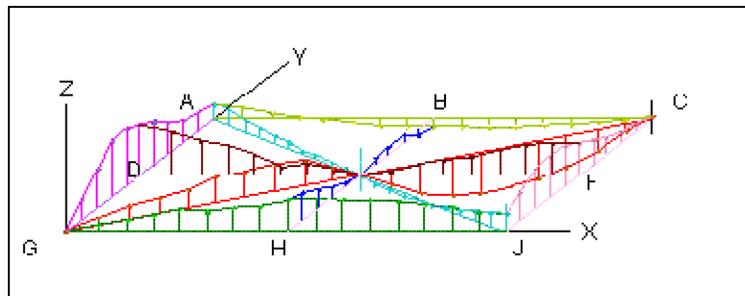
Metode ketiga, regresi planar, menghasilkan bidang regresi $z = -2,3x - 6,1y + 43,4$ di mana titik data tertinggi dan terendah berturut-turut berada pada $T_1(8; 2,4; 8)$ dan $R_1(5,6; 4,2; -11)$, yang memberi nilai kerataan sebesar 19.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Akhir Nilai Kerataan

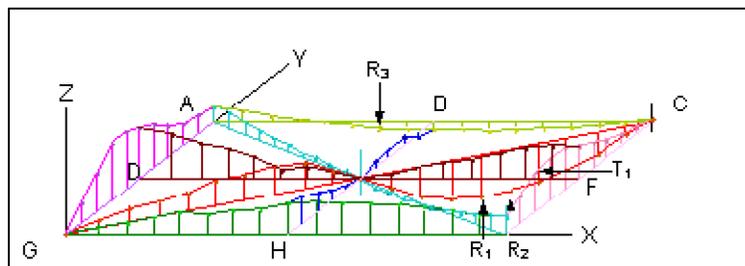
Metode	Bidang acuan	T ₁	T ₂	T ₃	R ₁	R ₂	R ₃	ϵ_F
Titik Ujung	ACG	8, 1,8, 78	-	-	5,6, 4,2, -69	-	-	147
	ACJ	8, 2,4, 45	-	-	5,6, 4,2, -83	-	-	128
	AGJ	0, 1,8, 69	-	-	5,6, 4,2, -102	-	-	171
	CGJ	0, 2,4, 85	-	-	5,6, 4,2, -69	-	-	154
"Selubung"	atas	0, 1,8, 77	0, 2,4, 77	8, 1,8, 63	5,6, 4,2, -67	-	-	66
	bawah	8, 1,2, 58	-	-	5,6, 4,2, -67	6, 4,5, -63	3, 6, -9	9
Regresi	bidang regresi (BR)	8, 2,4, 8	-	-	5,6, 4,2, -11	-	-	19



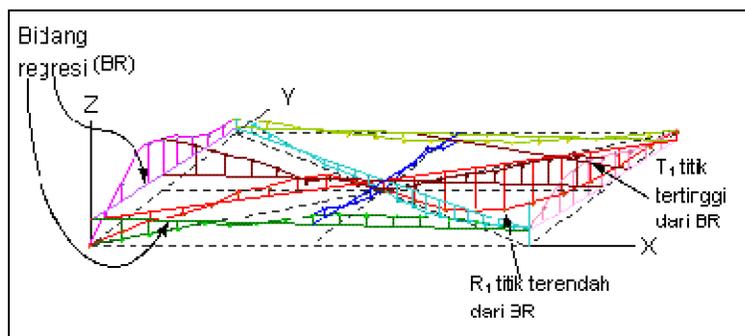
Gambar 2 Peta Kerataan Permukaan Menurut Metode Titik Ujung



Gambar 3 Peta Kerataan Permukaan Menurut Kedua Metode Lainnya



Gambar 4 Penyimpangan Kerataan Menurut Metode Selubung



Gambar 5 Penyimpangan Kerataan Menurut Metode Regresi Planar

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketiga metode analisis data kerataan permukaan yang diuraikan di atas mempunyai sifat-sifat yang spesifik dan memberi hasil yang berbeda satu

sama lain. Metode titik ujung merupakan cara yang cukup sederhana, tetapi tidak memberi hasil tunggal. Hal ini disebabkan oleh kombinasi posisi titik ujung yang dipilih. Penggunaan metode ini mengharuskan dilakukannya analisis bagi keempat kemungkinan hasil untuk mencari

nilai minimumnya. Pada kasus dengan data tipikal di atas, rentang perbedaan antara hasil terkecil dan hasil terbesar mencapai 43 satuan atau 24,7%.

Metode selubung terdiri dari dua tahap pengerjaan, yakni tahap koreksi data ukur untuk mengomunikasikan data pada titik-titik potong pola *moody*, dan tahap penentuan bidang acuan. Selain itu, metode ini juga memberi jawaban ganda, yakni hasil yang berdasarkan bidang acuan bawah dan bidang acuan atas. Penentuan bidang acuannya harus dilakukan secara coba-coba, terutama untuk menentukan titik ketiga. Penggunaan metode ini mengharuskan analisis untuk melakukan perhitungan bagi kedua posisi bidang acuan untuk memilih hasil yang terbaik. Pada kasus di atas, selisih antara kedua hasil yang diperoleh dengan menggunakan metode ini adalah sebesar 57 satuan atau 88,6%. Sisi positif dari metode ini adalah dihasilkannya nilai penyimpangan kerataan yang jauh lebih kecil (lebih baik) dibandingkan dengan metode titik ujung.

Metode regresi planar merupakan cara yang cukup ringkas karena hanya ada satu hasil walau pengerjaannya terdiri dari dua tahap seperti pada metode selubung. Nilai penyimpangan kerataan yang dihasilkan tidak selalu lebih baik dibandingkan dengan hasil terbaik dari metode selubung, namun masih jauh lebih baik dibandingkan dengan metode titik ujung.

Berdasarkan hasil-hasil ini, metode titik ujung tidak disarankan pemakaiannya. Di lain pihak, metode selubung dan metode regresi planar dapat digunakan bersamaan untuk mencari nilai akhir terkecil yang kemudian ditetapkan sebagai penyimpangan dari kerataan ideal.

Lebih lanjut pada ISO 1101, khususnya pada bagian kerataan permukaan, disarankan cara penentuan nilai penyimpangan dari kerataan permukaan idealnya dilakukan dengan memilih nilai terbaik di antara hasil-hasil yang diberikan oleh metode regresi (planar) dan metode selubung.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Sekumpulan data yang dihasilkan oleh suatu sistem pengukuran kerataan permukaan (seperti *autocollimator*, *electronic level measuring unit*, *dst*) tidak dapat diinterpretasikan secara tunggal. Beberapa metode analisis data memberi hasil

akhir yang berbeda-beda. Dengan mengambil pola *moody* sebagai studi kasus, analisis data berdasarkan metode selubung dan metode regresi planar memberi hasil yang cukup dapat diperbandingkan, dan keduanya jauh lebih baik daripada hasil yang didemonstrasikan oleh metode titik ujung. Kedua metode yang disebut pertama dapat digunakan bersama untuk kemudian hasilnya (yang paling kecil) ditetapkan sebagai representasi penyimpangan dari kerataan ideal.

Metode ini dapat diperluas kemudian untuk mencakup toleransi sejenis yang juga merupakan bagian dari ISO 1101 antara lain toleransi profil permukaan sebarang (*profile tolerance of any surface*), toleransi kesejajaran suatu garis terhadap suatu bidang acuan (*parallelism tolerance of a line with reference to a datum plane*), toleransi kesejajaran suatu permukaan terhadap suatu garis acuan (*parallelism of a surface with reference to a datum line*), dan toleransi kesejajaran suatu permukaan terhadap suatu bidang acuan (*parallelism tolerance of a surface with reference to a datum plane*).

DAFTAR PUSTAKA

- British Standard. (2008). BS 817 *Specification for Surface Plates*.
- DIN 876-1 (1984). Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface Plates – Part 1: Granite Surface Plates; Requirements, Inspection.
- International Organization for Standardization. (2004) ISO 1101 *Geometrical Product Specifications (GPS) – Geometrical Tolerancing – Tolerances of Form, Orientation, Location and Run Out*.
- (1980). ISO 8512-2 *Surface Plates – Part 2: Granite*.
- Japan Industrial Standard. (1992). JIS B 7513 *Precision Surface Plates*.
- Knake, Robert. (2009). What is an acceptable standard method for surface plate flatness calibration? *The newsletter of the American Association for the laboratory accreditation* 104: 8.