

USAHA MENUJU STANDARISASI KEKASARAN PERMUKAAN DAN PROBLEMATIKNYA

Dr. Ir. Muljowidodo Sastrodinoto 1)

Usaha menuju standarisasi kekasaran permukaan telah dilakukan secara intensif sejak dua dekade terakhir ini. Hasil-hasil usaha tersebut ternyata belumlah nampak secara nyata. Dalam paper singkat ini akan dibahas hal-hal yang menjadi dasar dilaksanakannya usaha-usaha tersebut, parameter-parameter kekasaran permukaan yang diusulkan serta kesulitan-kesulitan yang dihadapi dalam mencapai tujuan akhir dari usaha tersebut.

1. PENDAHULUAN.

Sejak dari semula kekasaran permukaan suatu benda kerja dipakai sebagai suatu parameter pengukur keberhasilan proses pembuatan benda kerja tersebut. Mula-mula satu benda kerja dibuat, dan kemudian dicoba. Apabila ternyata berhasil, cara pembuatan yang sama diulangi kembali.

Berikutnya dicari suatu parameter dari kekasaran permukaan benda kerja yang dianggap baik, dan diameter tersebut dipakai untuk mengukur benda kerja-benda kerja selanjutnya setelah selesai dibuat melalui proses-proses pengerjaan yang mungkin tidak sama. Cara pengukuran kekasaran permukaan yang mula-mula dilakukan hanya dengan pengamatan secara visual atau dengan perabaan jari-jari tangan kemudian digantikan dengan microscope dan stylus instruments. Parameter kekasaran permukaan pertama yang diusulkan adalah R_q (RMS). Kemudian harga R_a (Arithmetic average atau Centre Line average) diusulkan. Di Jerman harga R_t (puncak ke lembah) masih banyak dipakai. Biasanya hanya satu harga parameter kekasaran permukaan yang dicantumkan dalam gambar-gambar teknik, walaupun disadari secara luas bahwa hal tersebut sering tidak mencukupi dalam pemakaian-pemakaian praktisnya. Dalam beberapa dekade terakhir ini beberapa parameter baru dari kekasaran permukaan banyak diusulkan, diantaranya :

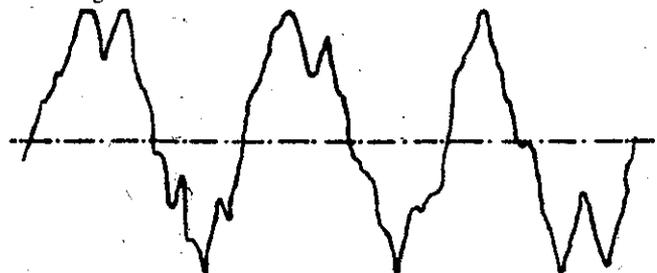
- bearing ratio curve (Abbott curve)
- ordinate distribution function
- auto correlation function
- crest radius distribution function
- amplitudo frequency spectrum

Akibatnya timbul kebingungan tentang parameter mana yang sebaiknya dicantumkan dalam gambar teknis sehari-hari.

Usaha dari berbagai-bagai negara ataupun organisasi internasional untuk mencoba me-standardkan parameter tersebutpun menjadi sulit karena adanya berbagai-bagai aspek yang harus dipertimbangkan sebelum keputusan yang matang dapat diambil. Ini dapat dilihat dari makin menumpuknya rancangan-rancangan (draft), usulan-usulan standarisasi parameter kekasaran permukaan tersebut, yang belum bisa disetujui secara mutlak bersama-sama. Dalam paper yang singkat ini akan dibahas usaha apa yang telah dilakukan menuju standarisasi kekasaran permukaan serta problem-problem yang masih harus dipecahkan secara bersama, dewasa ini.

2. PARAMETER KEKASARAN PERMUKAAN

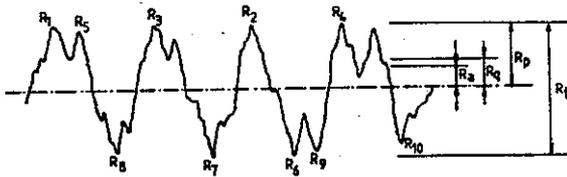
Apabila bentuk kekasaran permukaan suatu benda dapat kita peroleh, dan dapat dihitung penyimpangan-penyimpangan ordinate-nya terhadap suatu garis referensi lurus seperti pada gambar 1, maka parameter kekasaran permukaan dapat didefinisikan sebagai berikut :



Gambar 1. Suatu bentuk kekasaran permukaan dari benda kerja yang dibubut dan garis referensinya.

1) Laboratorium Metrologi Industri, Jurusan Mesin ITB.

2.1. Parameter-parameter Klasik



Gambar 2. Parameter-parameter klasik dari kekasaran permukaan.

- a). ordinate dari beberapa puncak tertinggi
ordinate dari beberapa lembah terendah
- b). R_t (puncak ke lembah maximum)

$$R_t = y_{\max} - y_{\min} \dots\dots\dots (1)$$

- c). R_p (puncak tertinggi)

$$R_p = y_{\max} \dots\dots\dots (2)$$

- d). R_v (lembah terendah)

$$R_v = y_{\min} \dots\dots\dots (3)$$

- e). R_z (jarak rata-rata puncak ke lembah)

$$R_z = \frac{(R_1 + R_2 + \dots + R_5) + (R_6 + R_7 + R_{10})}{5} \dots\dots\dots (4)$$

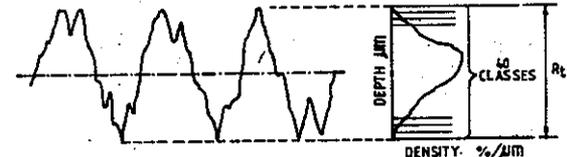
- f). R_a (Arithmetic Average)

$$R_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \dots\dots\dots (5)$$

- g). R_q (root mean square height).

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_x^2} \dots\dots\dots (6)$$

2.2. Fungsi distribusi ordinate



Gambar 3. Fungsi distribusi ordinate.

Fungsi distribusi ordinate ini (Gambar 3) mempunyai 2 parameter yaitu skewness dan kurtosis yang menentukan bentuk dari distribusi tersebut. Definisi dari parameter-parameter tersebut adalah sebagai berikut :

tukan bentuk dari distribusi tersebut. Definisi dari parameter-parameter tersebut adalah sebagai berikut :

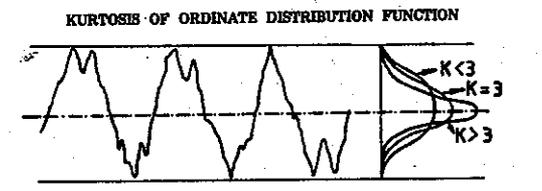
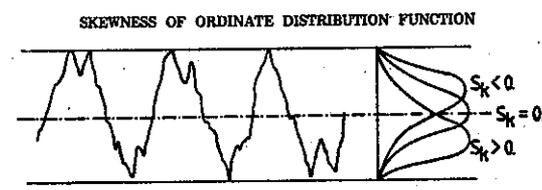
$$\text{Skewness} = \frac{U_3}{U_2^{-3/2}} \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{Kurtosis} = \frac{U_4}{U_2^2} \dots\dots\dots (8)$$

dimana

$$U_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_t^k \dots\dots\dots (9)$$

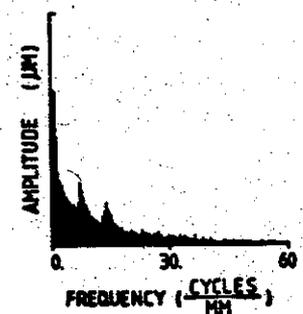
Untuk suatu distribusi normal, harga skewness = 0 dan kurtosis = 3 (Gambar 4).



Gambar 4. Skewness dan kurtosis dari fungsi distribusi ordinate.

2.3. Amplitude Frequency Spectrum

Fourier transformasi suatu profile kekasaran permukaan dari time domain ke frequency domain akan menghasilkan amplitudo frequency spectrum dari profile tersebut seperti terlihat pada gambar 5.



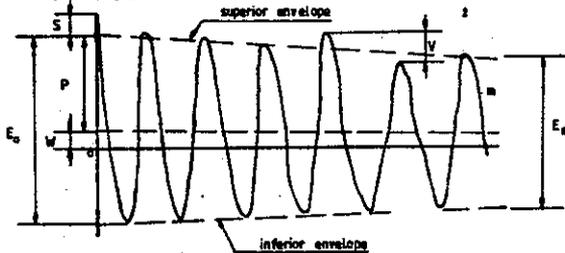
Gambar 5. Amplitude-frequency spectrum dari benda kerja yang dibubut.

2.4. Fungsi Autokorelasi

Fungsi autokorelasi didefinisikan sebagai berikut :

$$a(\beta) = \lim_L \frac{1}{N} \int_{-L/2}^{L/2} f(x) f(x + \beta) dx \dots (10)$$

Beberapa parameter dari fungsi Autokorelasi yang diusulkan oleh D.J. Whitehouse antara lain dapat dilihat pada gambar 6.



- S - normalized variance of the short term random element
- P - normalized variance of the periodic element
- W - normalized variance of the long wave-length element
- V - normalized variability in the superior envelope
- zeta - damping ratio

$$\frac{E_m}{E_0} \approx e^{-2m\eta z}$$

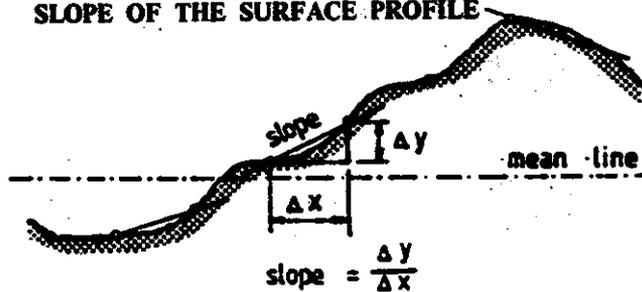
Gambar 6. Fungsi Autokorelasi dan parameter-parameternya dari suatu benda kerja yang dibubut.

2.5. Fungsi Distribusi kemiringan lereng (slope distribusi function)

Kemiringan lereng dari suatu profil dapat didefinisikan sebagai berikut (Gambar 7).

$$\text{Kemiringan lereng (slope)} = \frac{dy}{dx} \dots \dots \dots (11)$$

SLOPE OF THE SURFACE PROFILE



Gambar 7. Kemiringan lereng (slope) dari suatu profil.

Beberapa parameter kemiringan lereng yang digunakan untuk menentukan fungsi distribusi kemiringan lereng diantaranya :

- D_a : harga rata-rata kemiringan lereng
- D_q : harga RMS kemiringan lereng
- Skewness dari fungsi distribusi kemiringan lereng
- Kurtosis dari fungsi distribusi kemiringan lereng

2.6. Fungsi Distribusi Radius Puncak

Radius puncak dari suatu profil didefinisikan menurut persamaan klasik sebagai berikut :

$$\xi = \frac{\left(1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right)^{3/2}}{\left(\frac{d^2y}{dx^2}\right)_n} \dots \dots \dots (12)$$

Presentasi dari fungsi distribusi ini dan parameter-parameter lainnya dari suatu benda kerja yang dibubut dapat dilihat pada Gambar 8.

3. PROBLEMATIK STANDARDISASI KEKASARAN PERMUKAAN.

Setelah kita ketahui betapa banyaknya parameter-parameter yang telah diusulkan, akan kita tinjau pula di sini problem-problem utama yang timbul dalam usaha standardisasi parameter-parameter tersebut. Problem-problem utama tersebut dapat dikwalifikasikan sebagai berikut :

- a) Metode pengukuran
- b) Bentuk dan ukuran dari stylus
- c) Sistem datum yang dipakai
- d) Reference line yang dipilih
- e) Cut-off ware length dan panjang pengukuran yang hendak dipergunakan
- f) Parameter kekasaran permukaan yang dianalisa.

3.1. Metode pengukuran

Ada beberapa metode pengukuran kekasaran permukaan yang dikenal hingga saat ini, dan secara garis besar dapat dibedakan atas dua cara :

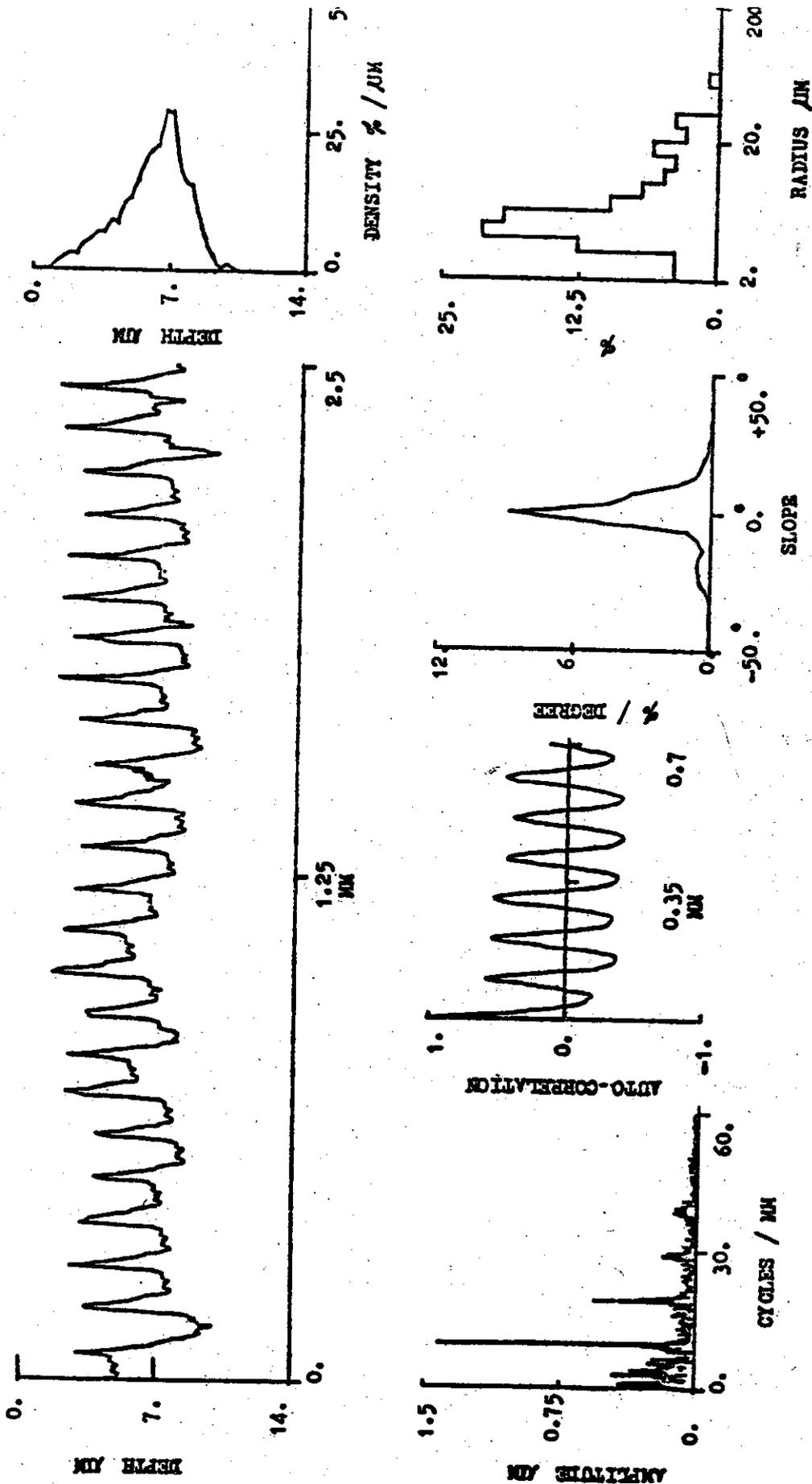
- a) metode pengukuran dengan stylus
- b) metode pengukuran tanpa memakai stylus

Beberapa jenis instrumen yang bekerja atas dasar kedua metode pengukuran tersebut akan diuraikan secara singkat sebagai sekedar contoh.

3.1.1. Metode pengukuran dengan stylus

Dalam garis besarnya prinsip kerja alat yang digunakan untuk mengolah sinyal yang diraba oleh stylus dapat dibagi menjadi dua :

- a) alat yang sensitif terhadap kecepatan gerak (speed), misalnya :
 - dengan menggerakkan magnet permanen yang menjadi inti (core) dari suatu kumparan (Gambar 9a)
 - dengan metode piezo-electric (Gambar 9b)



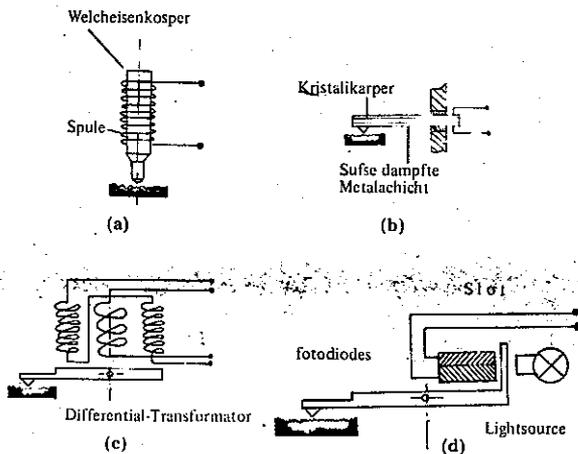
Gambar 8. Parameter-parameter kekasaran permukaan dari benda kerja yang dibubut.

- b) alat yang sensitif terhadap perubahan posisi (displacement), misalnya :
- Differential Transformer (Gambar 9c)
 - Photocell (Gambar 9d).

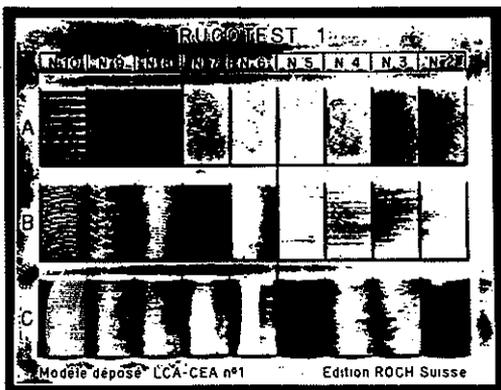
3.1.2. Metode pengukuran tanpa memakai stylus

Ada beberapa metode yang dipakai yang dalam garis besarnya dapat dibedakan menurut cara kerja instrument yang dipakai, antara lain :

- surface roughness comparator (Gambar 10)
- pneumatic method
- capacitive method
- dengan menggunakan microscope :
 - the dark field microscope
 - the length sectioning microscope
 - the interference microscope
- dengan menggunakan laser interferometer.



Gambar 9. Metode pengukuran dengan stylus



Gambar 10. Alat pembanding kekasaran permukaan

3.2. Bentuk dan ukuran dari stylus

Apabila usaha standardisasi kekasaran permukaan lebih di titik beratkan pada stylus method, maka problem pertama yang timbul adalah bagaimana cara mengukur dan mengkalibrasikan bentuk geometris dari stylus yang digunakan.

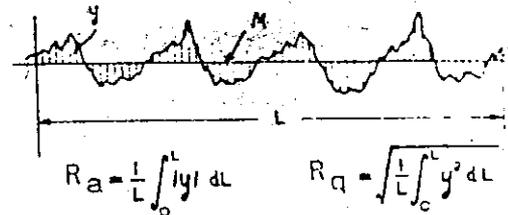
Hingga saat ini cara pengukuran dan pengkalibrasian stylus masih belum secara resmi distandarisasikan. Contoh dari rancangan usulan (draft) dari ISO yang terakhir ini misalnya adalah ISO/TC57/SC 2N78, (16). Pada prinsipnya ada tiga cara praktis yang dapat dipakai untuk mengkalibrasi bentuk geometris dari stylus :

- dengan melewati stylus melintasi suatu celah sempit dan mengukur sinyal keluarnya.
- dengan melewati stylus melintasi pisau yang sangat tajam dan mengukur sinyal keluarnya.
- dengan melewati stylus melintasi suatu profil yang presisi dan membandingkan hasilnya.

3.3. Sistem Datum

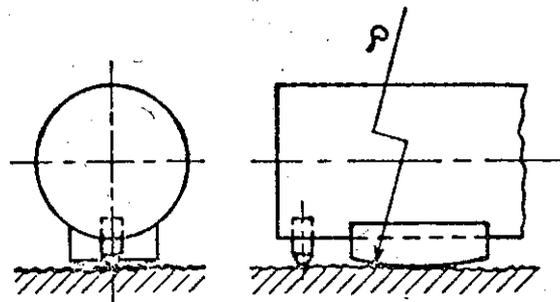
Ada dua sistem datum yang dipakai hingga saat ini yaitu :

- M system : yang menggunakan garis reference yang diperoleh dari penyaringan secara elektronis profile dari permukaan yang diukur (gambar 11).

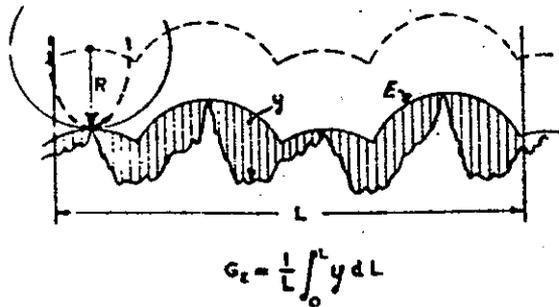


Gambar 11. M system.

- E system : Yang menggunakan garis reference yang diperoleh dari lintasan skid dengan jari-jari tertentu (gambar 12) dibandingkan dengan profil permukaan yang diukur. (gambar 13).



Gambar 12. Posisi skid dan stylus



Gambar 13. E system

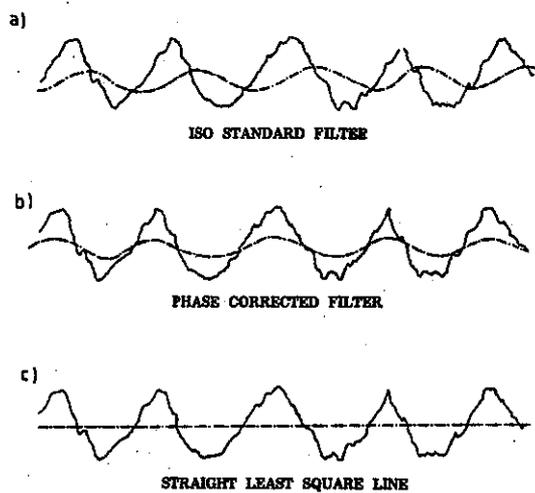
3.4. Reference lines

Apabila suatu usaha standarisasi kekasaran permukaan kemudian dititik beratkan pada M system, persoalan yang timbul adalah tentang pemilihan reference line yang tepat atas mana profile kekasaran permukaan akan dapat dihitung.

Kebanyakan alat-alat ukur kekasaran permukaan yang dipakai di industri-industri menggunakan reference line yang diperoleh dengan memakai double filter yang RC telah distandardkan oleh berbagai-bagai badan standarisasi seperti ISO, BSI, ASI dll. (Gambar 14a).

Pemakaian digital data processing menyebabkan adanya perbaikan-perbaikan sifat reference line, misalnya :

- Phase corrected filter (Gambar 14b)
- Straight least square line (Gambar 14c)



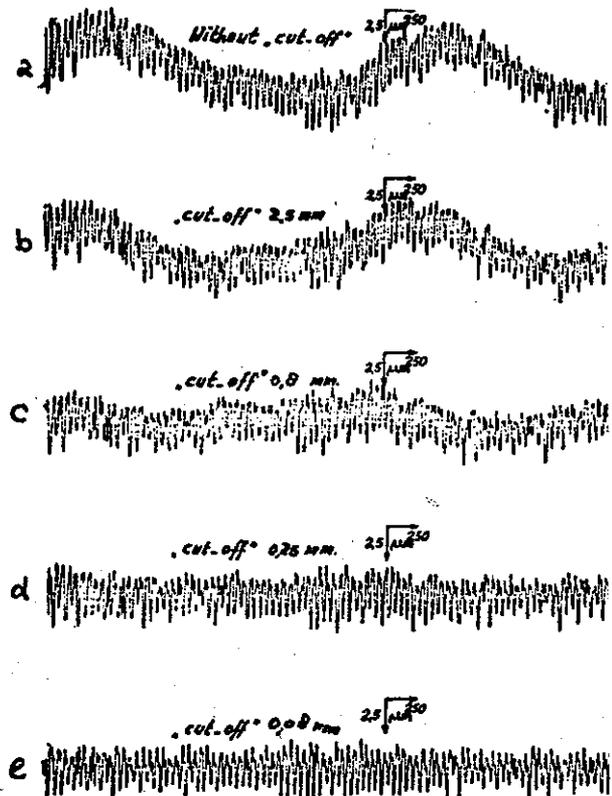
Gambar 14. Beberapa reference line yang sering dipergunakan.

3.5. Cut-off wave-length dan panjang pengukuran

3.5.1. Cut-off wave-length

Selanjutnya apabila kemudian jenis reference line yang digunakan adalah Double RC Filter atau Phase Corrected Filter, persoalan berapa panjang cut-off wave-length yang digunakan akan sangat mem-

engaruhi harga-harga parameter kekasaran permukaan yang diukur (Gambar 15).



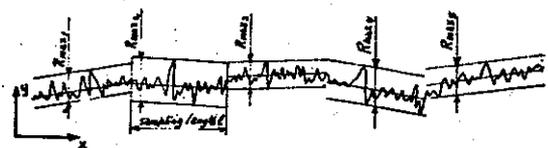
Gambar 15. Pengaruh panjang cut-off wave-length pada bentuk profile yang diperoleh.

Badan standarisasi dari Belgia misalnya membuat patokan harga cut-off wave length yang sebaiknya dipakai berdasarkan kelas-kelas kekasaran permukaan benda kerja yang diukur. (Tabel 1).

3.5.2. Panjang pengukuran

Persoalan yang serupa akan timbul pada pengukuran kekasaran permukaan yang didasarkan pada reference line yang lurus (misalnya straight least square line).

Panjang pengukuran akan sangat menentukan harga-harga parameter kekasaran permukaan (Gambar 16).



Gambar 16. Pengaruh panjang pengukuran pada harga parameter kekasaran.

Tabel 1. Cut-off wave length (diambil dari NBN 863 NI)

Grensgolflengten mm (in) Basislengte	Nummer van de ruwheidsklas	R_a	R_{max}	Bewerkingstaad (exemplatief)
8 (0,3)	N 13	100	400	Zandgeut - Kokkillinge - Smeden Grof zandstralen - Grof schaven - Grof draaien.
	N 12	50	200	
	N 11	25	100	
2,5 (0,1)	N 10	12,5	63	Kokkillinge - Drukieten - Nauwkeu- rig smeden - Grof persen - Zandstralen - Vlamsnijden - Schaven - Vijlen - Boren - Grof frezen
	N 9	6,3	25	
	N 8	3,2	12,5	
0,8 (0,03)	N 7	1,6	10	Koudwalsen - Warmwalsen - Trekken - Persen - Vijlen - Schrapen - Schaven - Boren - Draaien - Frezen - Ruimen - Slijpen
	N 6	0,8	6,3	
0,25 (0,01)	N 5	0,4	1,6	Koudwalsen - Trekken - Nauwkeurig Draaien - Nauwkeurig boren - Frezen - Ruimen - Slijpen - Honen
	N 4	0,2	0,8	
	N 3	0,1	0,4	
0,08 (0,003)	N 2	0,05	0,25	Met diamant draaien - Met diamant boren - Nauwkeurig slijpen - Honen - Polieren
	N 1	0,025	0,1	
	N 0,1	0,012	0,05	
0,025		0,01 0	0,04 0	Honen - Superfinish - Polieren

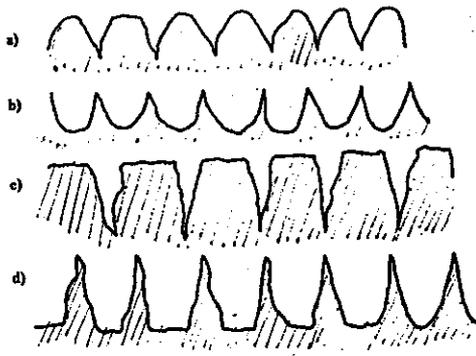
Tabel 2. Harga panjang pengukuran disesuaikan dengan harga cut-off wave length yang sebanding (diambil dari NEN 3635).

type ruwheidsmeter	Cut-off λ_B	meetlengte (L) ligt tussen	
met gefixeerde, door mechanische middelen bepaalde meetlengte L	0,08	0,4	2
	0,25	1,25	5
	0,8	2,4	8
	2,5	5	15
	8	16	40
	25	40	100
met vrij in te stellen meetlengte L	0,08	2,5	16
	0,25	2,5	16
	0,8	5	16

Untuk mengatasi kesimpangsiuran mengenai hal ini, badan standarisasi dari Belanda pernah mengeluarkan harga patokan panjang pengukuran (L) dibandingkan dengan harga cut-off wave length yang sebanding (Tabel 2).

3.5. Parameter Kekasaran Permukaan

Problem yang terakhir dan yang paling sulit justru adalah menetapkan parameter yang mana yang paling tepat dipakai sebagai standard pengukur. Hal ini tidaklah mudah karena setiap parameter mempunyai kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Ambil contoh misalnya beberapa bentuk kekasaran permukaan yang mempunyai harga R_a yang sama seperti pada Gambar 17.



Gambar 17. Beberapa bentuk kekasaran permukaan yang berbeda dengan harga R_a yang sama.

Akan terlihat bahwa bentuk-bentuk kekasaran permukaan tersebut akan berlainan sifatnya dalam pemakaian praktisnya. Oleh karena itu timbul usul-usul untuk menambahkan parameter yang lain seperti skewness dari fungsi distribusi ordinate dalam spesifikasi kekasaran permukaan suatu benda untuk melengkapi data-data teknis permukaan tersebut.

Demikianlah usul-usul lain makin berkembang, misalnya Al Salihi (42) mengusulkan skewness dan kurtosis dari Fungsi Distribusi Ordinat untuk mengidentifikasi kekasaran permukaan suatu benda, Peklenik (15) mengusulkan Fungsi Autokorelasi, Spragg & Whitehouse (17) mengusulkan kombinasi dari R_a dan panjang gelombang rata-rata (average wave length), Myers (13) mengusulkan kemiringan lereng (slope), Greenwood & Williamson (14) mengusulkan radius puncak dsb.

Pada hakekatnya ada dua tujuan penting dari pemilihan parameter yang tepat untuk distandardkan bagi kriteria kekasaran permukaan :

- a) Parameter kekasaran permukaan yang dipilih harus dapat menjamin fungsi dari benda kerja yang bersangkutan dalam pemakaian praktisnya.
- b) Parameter kekasaran permukaan yang dipilih harus dapat membedakan permukaan benda-benda kerja yang dibuat melalui proses yang berbeda-beda.

Sampai dewasa ini berbagai-bagai riset telah diadakan untuk menemukan parameter kekasaran tersebut, dan hasilnya masih belum nampak secara nyata.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN

Dari uraian diatas dapatlah diambil beberapa kesimpulan yang penting, yaitu :

- 1) Usaha menuju standarisasi kekasaran permukaan masih jauh dari tujuan akhir. Masih banyak hal yang harus dilakukan untuk mencapai hal tersebut.
- 2) Arah yang diambil hingga saat ini baru mencakupi salah satu segi saja dari sifat-sifat permukaan yaitu topography. Segi-segi lainnya misalnya Surface Metallurgy, Residual Stress dll yang mempengaruhi sifat-sifat benda kerja dalam pemakaian praktis, belumlah dianalisa.

Apabila usaha menuju standarisasi kekasaran permukaan hendak dilaksanakan di Indonesia, maka ada beberapa saran-saran yang dapat disampaikan disini yaitu :

- 1) Sebaiknya dilakukan inventarisasi dari standarisasi yang telah ada, maupun yang baru berupa rancangan (draft) dari beberapa badan standarisasi negara lain yang telah maju dalam hal ini.
- 2) Sebaiknya dilakukan juga inventarisasi alat-alat ukur kekasaran permukaan yang telah ada di Indonesia. Selanjutnya dapatlah ditetapkan anjuran bagi pihak-pihak yang hendak membeli alat ukur kekasaran permukaan tersebut untuk memilih jenis tertentu yang paling tepat untuk pemakaian di Indonesia. Hal ini akan memudahkan penyeragaman parameter kekasaran permukaan yang akan dipakai (misalnya R_a atau R_t atau R_q) serta pengkalibrasian alat-alat ukur tersebut di kelak kemudian hari.

DAFTAR PUSTAKA :

- 1). M. Sastrodinoto, P. Vanherc and J. Peters, Assesment of Surface Typology Analysis Techniques, Final Report, Summary, Results Conclusions, Heverlee 1979.
- 2). P. Vanherc, M. Sastrodinoto and J. Peters, Assesment of Surface Typology Analysis Techniques, Report & Computational Method, Heverlee 1977.
- 3). J. Peters, P. Vanherc, M. Sastrodinoto, Assesment of Surface Typology Analysis Techniques, Key-note paper, Analysis of the CIRP Vol. 28/2/1979.
- 4). M. Sastrodinoto, Assesment of Surface Typology Analysis Techniques, Doctor Thesis 1979, Heverlee.
- 5). J. Peters, Bijzondere vraag stukken van Meet-techniek, K.U. Leuven - ACCO, 1972.
- 6). Document : ISO/TC 57/SC 2 N 78
- 7). Document : NBN 863 NI
- 8). Document : DIN 4760, 4762, 4763, 4764, 4766.
- 9). Document : Draft ISO / DIS 3274.
- 10). Document : NEN 3631, 3632, 3633, 3634, 3635, 3637, 3638.
- 11). D.J. Whitehouse, Typology of manufactured surfaces Annals of CIRP, vol 19, 1971.
- 12). T. Al Salihi, Doctor thesis, University of Birmingham.
- 13). N.O. Myers, Characterization of surface roughness, Wear. Vol. 5, 1962. No. 3. pp.182 - 189.
- 14). J.A. Greenwood and J.B.P. Williamson, Contact of normally flat surfaces, Proceeding of the Royal Society, Vol. A 295, 1966.
- 15). J. Peklenik, Neure statistische verfahren zur topographischen erfassung von Oberflache I und II, Werkstattstechnik, 59, pp.633- 637, 1966.
- 16). Document : Draft ISO / T 57/SC2N78.
- 17). R.C. Sprag and D.J. Whitehouse, A new unified approach to surface metrology. Proc. of the Inst. of Mech. Engrs. 185 47/71, 1970 - 1971.