

## PENGEMBANGAN KETERTELUKURAN PENGUKURAN MELALUI UJI KOMPETENSI LABORATORIUM NANOTEKNOLOGI DALAM PENGUKURAN DIMENSI

Nur Tjahyo Eka Darmayanti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Riset dan Pengembangan SDM – Badan Standardisasi Nasional

e-mail :<sup>1</sup>nc\_eka@bsn.go.id

### ABSTRACT

*The inter-laboratory comparison for nanotechnology in dimensional measurement already carried out for the first time in Indonesia. The comparison was followed by 6 participants. The purpose of comparison is to assist participants in validating their measuring equipment and ensuring that the output of the measuring instrument used still in good performance. Nanotechnology comparison was adopt the International CCL Dimensional Working Group under the name Nano4. The nanotechnology comparison used a Certified Reference Material (CRM) which has been calibrated and traceable to the CMS ITRI Taiwan. The quantities measured was pitch with a nominal value of 300 nm and 700 nm. The six participants used the Scanning Microscope Electron (SEM) equipment to take measurements with different equipment specifications. Analysis of the measurement results of the nanotechnology comparison was carried out using the En-number statistical approach. Considering that BSN does not yet have nanotechnology measurement facilities, the evaluation of measurement results is carried out by consensus using a statistical approach, namely the average (mean), middle value (median) and weighted average (weighted mean). The measurement evaluation results are compared to the reference value obtained from the calibration certificate for CMS ITRI, Taiwan. Based on the consensus value using weighted, it means that for the nominal 300 nm the six inlier participants are equal to the nominal 700 nm. The results of the evaluation using the mean and median statistical approach are very different compared to the weighted mean. Meanwhile, the evaluation of measurements using the reference value of the ITRI CMS, Taiwan can described that the comparison with pitch parameters is satisfactory for 700 nm. The difference result shown at 300 nm.*

**Keywords:** *certified reference material, en-number calibration, nanotechnology inter-laboratory comparison, pitch, weighted mean*

### INTISARI

*Untuk pertama kalinya di Indonesia dilaksanakan kegiatan uji banding nanoteknologi dalam pengukuran dimensi dan diikuti oleh 6 peserta. Tujuan uji banding nanoteknologi ini adalah membantu peserta dalam melakukan validasi atas peralatan ukur yang dimiliki dan memastikan bahwa keluaran alat ukur yang digunakan memiliki performa yang prima. Kegiatan uji banding nanoteknologi ini mengadopsi kegiatan uji banding internasional yang bernaung di bawah Working Group Dimensional CCL dengan nama Nano4. Kegiatan uji banding nanoteknologi menggunakan sampel berupa Certified Reference Material (CRM) yang telah dikalibrasi dan tertelusur ke CMS ITRI Taiwan. Besaran yang diukur dalam kegiatan uji banding adalah pitch dengan nominal 300 nm dan 700 nm. Keenam peserta uji banding menggunakan peralatan Scanning Microscope Electron*

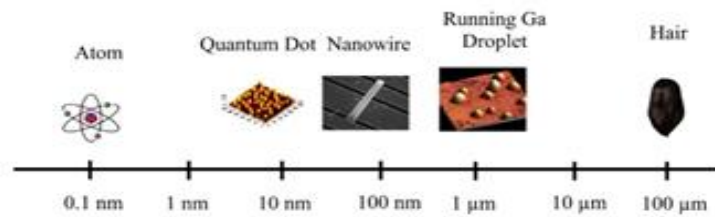
(SEM) untuk melakukan pengukuran dengan spesifikasi peralatan yang berbeda-beda. Analisis terhadap hasil pengukuran uji banding nanoteknologi dilakukan dengan pendekatan statistika *En-number*. Mengingat BSN belum memiliki fasilitas pengukuran nanoteknologi maka evaluasi hasil pengukuran dilakukan secara konsensus menggunakan pendekatan secara statistik yaitu dengan rata-rata (*mean*), nilai tengah (*median*) dan rata-rata tertimbang (*weighted mean*). Hasil evaluasi pengukuran dibandingkan ke nilai acuan yang diperoleh dari sertifikat kalibrasi CMS ITRI, Taiwan. Berdasarkan nilai konsensus menggunakan *weighted mean* diperoleh bahwa untuk nominal 300 nm keenam peserta inlier, sama halnya untuk nominal 700 nm. Hasil evaluasi menggunakan pendekatan *statistic mean* dan *median* sangat berbeda dibandingkan dengan *weighted mean*. Sedangkan evaluasi pengukuran dengan menggunakan nilai acuan dari CMS ITRI, Taiwan dapat disimpulkan bahwa uji banding nanoteknologi secara dimensional dengan parameter *pitch* memperlihatkan hasil yang memuaskan di nominal 700 nm. Namun hasil berbeda ditunjukkan pada nominal 300 nm.

**Kata kunci:** *certified reference material, en-number kalibrasi, pitch, uji banding nanoteknologi, weighted mean*

## 1. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan teknologi rekayasa material, sekarang telah memungkinkan untuk membuat material hingga tingkat kepresisian dalam skala nano. Ketika ukuran suatu material mencapai ukuran nano dimana sebanding dengan ukuran gelombang kuantum (*de Broglie wavelength*), sifat baru dan fenomena unik dari material tersebut akan muncul. Sebagai contoh, teknologi *Quantum Dots* mampu meningkatkan efisiensi sel surya hingga 42% (Nozawa dan Arakawa, 2011), yang sebelumnya tidak dapat diperoleh dengan hanya menggunakan sel surya konvensional; sel tenaga surya dengan efisiensi tinggi ini sangat berguna sebagai sumber daya di luar angkasa. Disiplin ilmu yang mempelajari rekayasa material dalam skala nano disebut juga sebagai disiplin ilmu nanoteknologi. Aplikasi nanoteknologi tidak hanya terbatas pada fisika kuantum, produk nanoteknologi telah berkembang pesat dan memasuki pasar komersil, misalnya pembuatan chip komputer (Sinitskii dan Tour, 2009), produk kosmetik (Raj *et al.*, 2012), dan obat (Jamakhani *et al.*, 2011). Di Indonesia, yang terklasifikasi sebagai produk nanoteknologi dalam negeri antara lain adalah pasta gigi, teknologi pembuat pola keramik, teknologi cat.

Pada proses pembuatan dan karakterisasi material nano, tidak akan pernah terlepas dari pengukuran dimensi, suhu, dan analisis massa partikel. Misalnya, Gambar 1 menunjukkan ukuran *Quantum Dots* yaitu sekitar 10 nm—1/10.000 kali lebih kecil dari ukuran rambut. Jika ukuran *Quantum Dots* tersebut terlalu besar melebihi radius Bohr dari exciton (Tian, 2013)—bisa dipengaruhi oleh parameter suhu atau massa partikel—maka efisiensi tinggi yang diharapkan pada produk sel surya tidak akan tercapai karena penyerapan cahaya tidak terjadi secara sempurna (Trisna, 2014). Oleh karena itu, untuk menjamin kualitas produk nano, ilmu pengukuran dalam skala nano (nanometrologi) niscaya merupakan unsur utama dan penting. Di sini dituntut peran BSN dalam kancah diseminasi nilai-nilai nanometrologi bagi produk nanoteknologi nasional. Ilustrasi beberapa skala panjang seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi beberapa skala panjang

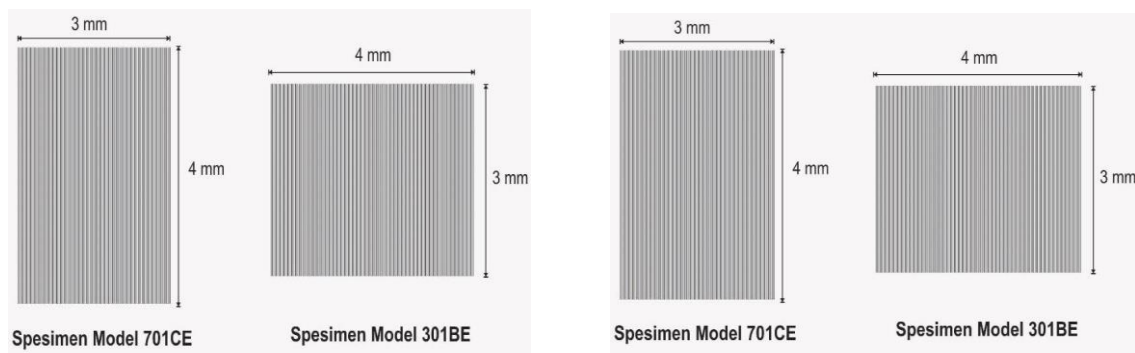
Merupakan suatu tugas mendasar bagi BSN untuk menjamin ketertelusuran nanometrologi, terlebih dengan berkembangnya nanoteknologi dalam bidang industri (Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2015) dan medis (Universitas Islam Indonesia, 2015) di Indonesia. Tugas institusi BSN memfasilitasi penjaminan ketertelusuran nanometrologi; dan mampu memberikan masukan terhadap laboratorium nanoteknologi sehingga menghasilkan pengukuran yang akurat dan terpercaya.

Untuk menjamin ketertelusuran nanometrologi di Indonesia, dilakukan uji kompetensi laboratorium nanoteknologi. Kegiatan ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kemampuan pengukuran laboratorium nanoteknologi di Indonesia (Darmayanti *et al.*, 2019). Berdasarkan standar internasional ISO/IEC 17025 tentang persyaratan umum kompetensi laboratorium pengujian dan laboratorium kalibrasi, ketertelusuran harus dibuktikan melalui kalibrasi terhadap standar atau bahan acuan tertentu, atau melalui uji banding antar laboratorium.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Spesimen transfer standar

Spesimen yang digunakan dalam uji banding ini adalah dua buah spesimen yang termasuk kedalam golongan 1D *gratings* berdasarkan WGD-7 DG BIPM (Meli, 2000). Spesimen 1D *gratings* yang digunakan memiliki nilai nominal *pitch* 300 nm dan 700 nm. Spesimen dengan nominal *pitch* 300 nm terbuat dari bahan silikon dengan pola garis-garis dari bahan titanium pada bagian permukaannya. Dimensi dari spesimen ini adalah 4 mm x 3 mm dengan ketinggian undakan sekitar 30-40 nm. Pola garis – garis pada spesimen ini tegak lurus terhadap dimensi yang lebih panjang (4 mm) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema pola garis – garis pada spesimen 1D gratings

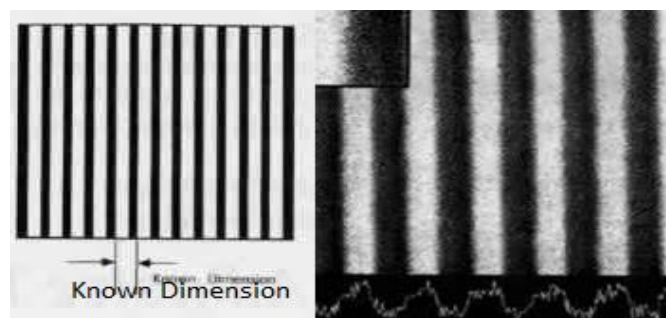
Spesimen dengan nominal *pitch* 700 nm dibuat dengan menggunakan bahan silikon yang dilapisi bahan tungsten dengan dimensi 3 mm x 4 mm. Berbeda dengan spesimen 301BE, pola garis – garis pada spesimen 701CE

tegak lurus terhadap dimensi yang lebih pendek (3 mm) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Detail spesifikasi teknis masing-masing spesimen ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. 300 nm 1D grating		Tabel 2. 700 nm 1D grating	
Nominal <i>pitch</i> 300 nm		Nominal <i>pitch</i> 700 nm	
Manufaktur	EMS	Manufaktur	EMS
Model	301BE	Model	701CE
S/N	2334B0154	S/N	2333F0282
Substrat	Silicon wafer	Substrat	Silicon wafer
Permukaan atas	Garis Ti pada Si	Pola	Puncak Paralel
Pola	Puncak Paralel	Aplikasi	SEM
Aplikasi	AFM, SEM, TOF-SIMS, Auger	Permukaan atas	60 nm Tungsten film; W-coated Photoresist on Si
Ukuran Fisik	3mm x 4mm x 0.5mm	Ukuran Fisik	3mm x 4mm x 0.5mm
Akurasi	± 1%	Akurasi	± 3%

## 2.2. Parameter pengukuran

Parameter pengukuran yang dilaporkan oleh setiap peserta uji banding adalah nilai pengukuran *pitch*, yaitu jarak rata-rata antar undakan pada spesimen di suhu 20 °C. Jika pengukuran dilakukan tidak tepat pada suhu 20 °C, maka laboratorium koordinator akan mengoreksi nilai yang dilaporkan peserta, walaupun setiap peserta tetap dihimbau menjaga **suhu selama pengukuran pada rentang (20 ± 4) °C dan kelembaban relatif (50 ± 10) %**. *Pitch* di ukur dengan metode *edges to edges* (pinggir garis terang kepada garis terang berikutnya) dimana arah *pitch* didefinisikan tegak lurus terhadap pola garis-garis pada spesimen. Ilustrasi mengenai pengukuran *pitch* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Ilustrasi pitch (“known dimension”)

## 2.3. Ketidakpastian Pengukuran

Ketidakpastian pengukuran dievaluasi berdasarkan ISO JCGM 100 tahun 2008 (Bich *et al.*, 2012). Ketidakpastian baku gabungan  $u_c(x_i)$  dinyatakan sebagai akar dari jumlah kuadrat dari setiap komponen ketidakpastian  $u(a_j)$  dan koefisien sensitifitas  $c_j$ .

$$u_c^2(x_i) = \sum_{j=1}^n u^2(a_j) * c_j \quad (1)$$

dimana nilai  $c_j$  pada uji banding ini adalah 1, sedangkan  $j$  adalah jumlah komponen ketidakpastian yang berpengaruh dalam pengambilan data pengukuran.

#### 2.4. Evaluasi hasil uji banding

Evaluasi hasil uji banding dilakukan dengan cara membandingkan nilai setiap peserta terhadap nilai rata-rata terbobot. Proses perbandingan ini dilakukan menggunakan alat analisis statistika *En number* sesuai Persamaan (2)

$$En = \frac{(x_i - \bar{x}_{ref})}{\sqrt{U^2(x_i) + U^2(\bar{x}_{ref})}} \quad (2)$$

dimana  $U(x_i)$  dan  $U(\bar{x}_{ref})$  masing-masing adalah ketidakpastian bentangan untuk peserta dan nilai referensi. Jika nilai  $|En| \leq 1$ , maka nilai peserta berada di dalam (*inlier*) cakupan nilai referensi. Sebaliknya jika  $|En| > 1$ , maka nilai peserta berada di luar (*outlier*) cakupan nilai referensi (Phauaknoi *et al.*, 2016).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil analisis di atas maka hasil pengukuran sampel 301BE dan 701CE beserta nilai ketidakpastian yang dihasilkan oleh masing-masing peserta dirangkum seperti pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Nilai ketidakpastian dan rerata sampel 301BE dan 701CE

Nama Instansi	Nilai Rerata Sampel		U <sub>95</sub> (nm)	
	301BE (nm)	301BE	701CE (nm)	701CE
LAB A	301,8	8,5	713,5	15
LAB B	299,9	4,4	702,3	9,3
LAB C	297,6	4,8	707,9	9,7
LAB D	301,3	10	710,4	11
LAB E	290,4	4,2	698,5	8,2
LAB F	-	-	-	-

Lab F tidak menyampaikan hasil pengukuran dan perhitungan ketidakpastian. Dikarenakan fasilitas pengukuran nanoteknologi tidak dimiliki BSN, maka perlu dilakukan suatu upaya melakukan evaluasi terhadap hasil UBLK. Upaya penentuan nilai acuan dilakukan dengan beberapa pendekatan statistik. Penentuan nilai acuan suatu uji banding berdasarkan beberapa pendekatan statistik berbeda akan menghasilkan hasil berbeda pula (Elster dan Link, 2001). Menurut Cox (2007), menentukan nilai acuan suatu hasil uji banding berdasarkan beberapa pendekatan secara statistik yaitu rata-rata (*mean*), nilai tengah (*median*) dan rata-rata tertimbang (*weighted mean*). Masing-masing pendekatan secara statistik ini memiliki kelemahan dan keunggulan dan diterapkan pemakaiannya sesuai dengan kondisi data uji banding yang dihasilkan (Rosario *et al.*, 2008). Untuk menentukan nilai acuan dalam uji banding *ID Gratings: Pitch* menggunakan pendekatan *weighted mean*, *mean* dan *median*.

#### 3.1. Pendekatan *weighted mean*

Nilai acuan hasil uji banding dengan pendekatan *weighted mean* dapat ditentukan dengan menghitung rata-rata nilai hasil pengukuran peserta dengan memperhitungkan setiap nilai ketidakpastian yang dihasilkan oleh

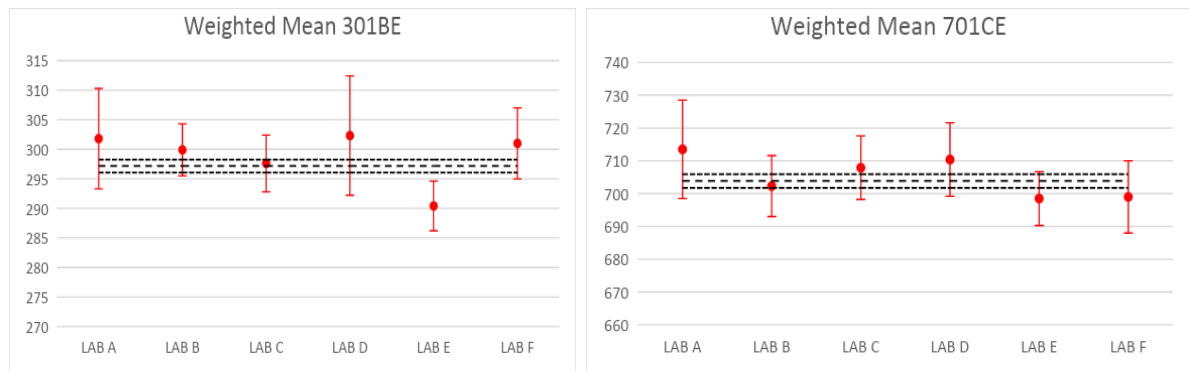
setiap peserta, seperti pada persamaan:

$$y = \frac{x_1/u^2(x_1) + \dots + x_n/u^2(x_n)}{1/u^2(x_1) + \dots + 1/u^2(x_n)} \quad (3)$$

Ketidakpastian nilai rata-rata tertimbang,  $u(y)$ , dapat ditentukan sebesar :

$$u(y) = \sqrt{\frac{1}{1/u^2(x_1) + \dots + 1/u^2(x_n)}} \quad (4) \text{ Kesesuaian nilai}$$

masing-masing peserta jika dibandingkan dengan hasil perhitungan nilai acuan UBLK secara weighted mean ditampilkan dalam Gambar 4.



**Gambar 4.** Nilai acuan berdasarkan pendekatan statistik weighted mean untuk artefak 301BE dan 701CE

### 3.2. Pendekatan mean

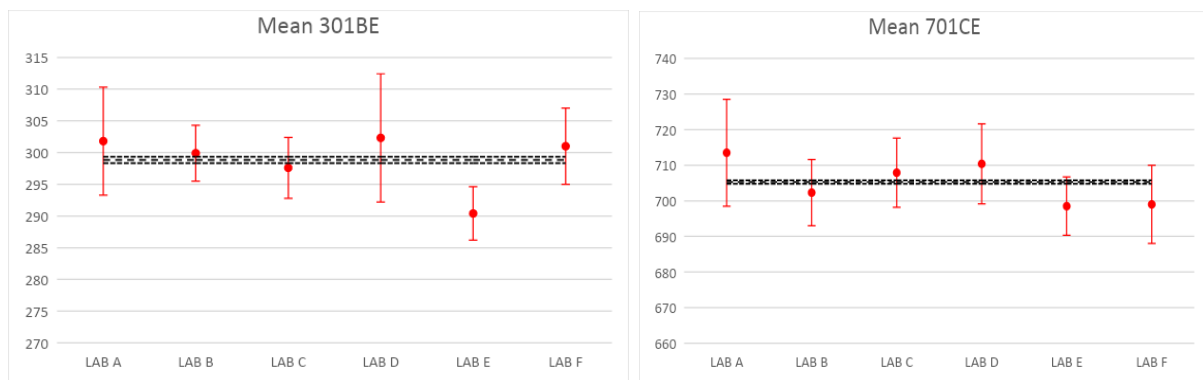
Persamaan yang digunakan untuk merata-ratakan hasil uji banding peserta dijelaskan seperti berikut.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

Dengan ketidakpastian baku nilai rata-rata hasil uji banding sebesar

$$u(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

Kesesuaian nilai masing-masing peserta jika dibandingkan dengan hasil perhitungan nilai acuan UBLK secara pendekatan statistik mean ditampilkan dalam Gambar 5.



**Gambar 5.** Nilai acuan berdasarkan pendekatan statistik mean untuk artefak 301BE dan 701CE

### 3.3. Pendekatan median

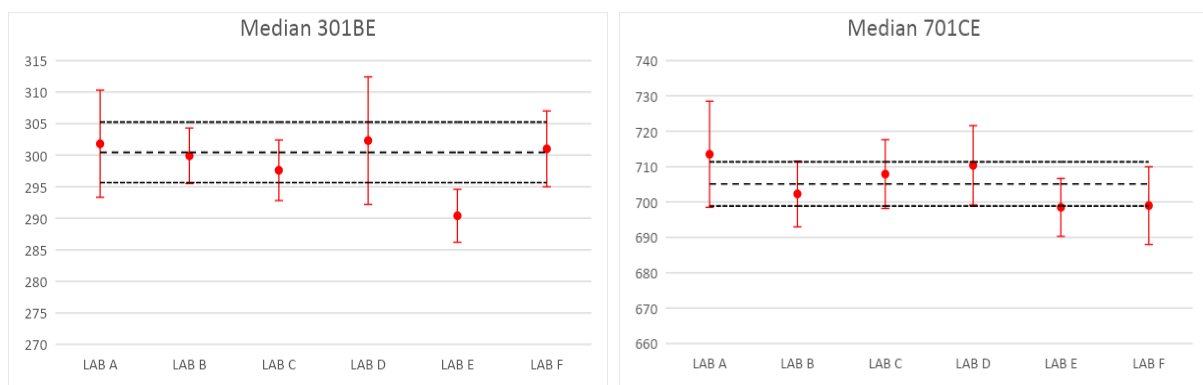
Penentuan nilai tengah acuan data hasil UBLK diekspresikan seperti persamaan.

$$x_{med} = \begin{cases} x_{\frac{n-1}{2}}, & \text{for } n \text{ odd} \\ \frac{x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1}}{2}, & \text{for } n \text{ even} \end{cases} \quad (7)$$

Dengan ketidakpastian baku sebesar :

$$u(x_{med}) = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_{med})^2}{(n-1)}} \quad (8)$$

Kesesuaian nilai masing-masing peserta jika dibandingkan dengan hasil perhitungan nilai acuan UBLK secara median ditampilkan dalam Gambar 6.



**Gambar 6.** Nilai acuan berdasarkan pendekatan statistik median untuk artefak 301BE dan 701CE

Dengan menggunakan persamaan weighted mean, median dan mean, diperoleh nilai acuan untuk masing-masing artefak (301BE dan 701CE) seperti ditampilkan pada Tabel 4. Nilai yang ditampilkan dalam tabel ini adalah dengan memasukkan data estimasi yang berasal dari Lab F. Data estimasi Lab F adalah 301 nm ( $U_{95} = \pm 6$  nm) dan 699 nm ( $U_{95} = \pm 11$  nm).

**Tabel 4.** Pendekatan nilai acuan secara mean, median dan weighted mean

Kode	Mean (nm)		Median (nm)		Weighted Mean (nm)	
	Nilai	u	Nilai	U	Nilai	u
301CE	298.84	0.50	300.5	4.8	297.2	1.1
701BE	705.26	0.48	705.1	6.2	703.9	2.1

Hasil analisis statistik berdasarkan *mean* dan *weighted mean* sangat dipengaruhi oleh nilai yang ekstrim (Cox, 2007), namun untuk kasus uji banding untuk 1D Gratings ketiga pendekatan yang digunakan dipandang sudah tepat (Fu *et al.*, 1994). Karena nilai perhitungan yang disampaikan oleh masing-masing peserta tidak ada yang ekstrim. Namun perlu dilakukan perhatian yang intensif terhadap ekspresi ketidakpastian yang disampaikan oleh masing-masing peserta. Terutama ketika hasil ini dibandingkan dengan nilai acuan yang dikeluarkan oleh CMS ITRI.

Berdasarkan klaim CMC yang diterbitkan oleh CMS ITRI dalam kegiatan uji banding CCL, klaim ketidakpastian yang diberikan sebesar 0,99 nm ( $k=1$ ) dan 2,4 nm ( $k=1$ ). Nilai yang dihasilkan CMS ITRI relative besar dibandingkan dengan nilai ketidakpastian peserta uji banding CCL lainnya. Sehingga ada prediksi nilai yang dihasilkan oleh peserta UBLK 1D Gratings akan inlier dengan uji banding CCL. Jika kemudian hasil masing-masing peserta dan nilai acuan berdasarkan pendekatan secara weighted mean, mean dan median ditentukan nilai En scores-nya, maka diperoleh nilai En seperti ditampilkan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Nilai En Score dengan pendekatan nilai acuan secara weighted mean, median dan mean untuk 300 nm

KODE LAB	En weighted mean	En mean	En median
LAB A	1,06	0,69	0,21
LAB B	1,11	0,47	-0,10
LAB C	0,16	-0,50	-0,53
LAB D	0,99	0,68	0,27
LAB E	-2,84	-3,91	-1,92
LAB F	1,20	0,71	0,09

**Tabel 6.** Nilai En Score dengan pendekatan nilai acuan secara weighted mean, median dan mean untuk 700 nm

KODE LAB	En weighted mean	En mean	En median
LAB A	1,23	1,09	0,86
LAB B	-0,31	-0,63	-0,36
LAB C	0,76	0,54	0,35
LAB D	1,09	0,91	0,63
LAB E	-1,17	-1,63	-0,88
LAB F	-0,83	-1,13	-0,73

Dari analisis di atas maka akan terlihat perbedaan yang mencolok ketika melakukan analisis dengan pendekatan secara weighted mean dengan secara median dan mean. Hasil evaluasi secara weighted mean menginformasikan bahwa jumlah peserta yang inlier hanya sejumlah 2 peserta untuk nominal 300 nm dan 3 peserta untuk nominal 700 nm. Sangat berbeda dengan median dan mean dimana hasil peserta banyak yang inlier. Hal ini dikarenakan evaluasi hasil dengan pendekatan median dan mean tidak melihat dan memperhitungkan klaim ketidakpastian yang diberikan oleh masing-masing peserta. Sehingga evaluasi dengan cara median dan mean kurang cocok untuk digunakan dalam evaluasi uji banding ini. Berbeda halnya dengan evaluasi dengan weighted mean, dimana klaim ketidakpastian peserta dipertimbangkan dalam perhitungan. Namun evaluasi secara weighted mean juga akan menghadapi kendala jika terdapat peserta yang memberikan klaim ketidakpastian terlalu kecil. Karena nilai sebaran akan mengarah ke nilai ketidakpastian yang kecil. Itulah sebabnya pendekatan weighted mean berpengaruh terhadap nilai yang ekstrim (Rukhi, 2009). Namun untuk saat ini, jika dibandingkan dengan pendekatan median dan mean, evaluasi dengan menggunakan pendekatan secara weighted mean paling memungkinkan untuk digunakan. Terutama dalam kegiatan uji banding seperti ini.



### 3.4. Perbandingan hasil dengan sertifikat CMC ITRI, Taiwan

Nilai referensi pada uji banding ini diperoleh dari sertifikat kalibrasi yang diterbitkan oleh Lembaga Metrologi Taiwan yakni *Center of Measurements (CMS) Industrial Technology Research Institute (ITRI)*. Berdasarkan sertifikat yang diterbitkan CMS ITRI, nilai pitch pada sampel 300 nm adalah sebesar  $(292.127 \pm 0.009)$  nm. Sedangkan nilai pitch pada sampel 700 nm adalah  $(700.81 \pm 0.03)$  nm. Stabilitas artefak tidak dipertimbangkan dalam kegiatan uji banding ini. Hasil evaluasi pengukuran sampel 301BE dan 701CE masing-masing peserta dirangkum seperti pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Hasil evaluasi pengukuran peserta uji bandng untuk sampel 301BE dan 701CE

No	Nama Instansi	Sampel	Nilai Rerata Lab (nm)	$U_{95}$ Lab (nm)	Nilai REF (nm)	$U_{95}$ REF (nm)	LAB – REF	En
1	LAB A	301BE	301,8	8,5	292.127	0.009	9.673	1.14
		701CE	713,5	15	700.81	0.03	12.687	0.85
2	LAB B	301BE	299,9	4,4	292.127	0.009	7.773	1.77
		701CE	702,3	9,3	700.81	0.03	1.487	0.16
3	LAB C	301BE	297,6	4,8	292.127	0.009	5.473	1.14
		701CE	707,9	9,7	700.81	0.03	7.087	0.73
4	LAB D	301BE	301,3	10	292.127	0.009	10.188	1.01
		701CE	710,4	11	700.81	0.03	9.570	0.85
5	LAB E	301BE	290,4	4,2	292.127	0.009	1.373	0.33
		701CE	698,5	8,2	700.81	0.03	-0.913	0.11
6	LAB F	301BE	-	-	292.127	0.009	-	-
		701CE	-	-	700.81	0.03	-	-

## 4. KESIMPULAN

Kegiatan uji banding nanoteknologi untuk 1D gratings telah terlaksana dengan baik dan lancar, tanpa ditemukan kendala yang berarti. Dari hasil pengamatan sementara terhadap hasil UBLK yang diberikan oleh masing-masing peserta disimpulkan bahwa hasil uji banding nanoteknologi 1D gratings memuaskan. Hasil yang memuaskan ini diperoleh dengan pendekatan statistic secara *weighted mean*. Sedangkan evaluasi pengukuran dengan menggunakan nilai acuan dari CMS ITRI, Taiwan memperlihatkan hasil yang berbeda di bagian 300 nm.

Secara keseluruhan kegiatan dapat disimpulkan bahwa uji banding nanoteknologi secara dimensional dengan parameter pitch berjalan dengan baik. Masing-masing lab juga tidak kesulitan dalam menerapkan pengukuran sesuai protocol. Walaupun hasil perhitungan En pada 300 nm, hanya 1 peserta yang memuaskan. Hal ini dikarenakan kemampuan pengukuran peralatan nanoteknologi yang dimiliki peserta terbatas. Kegiatan UBLK dengan parameter lain sangat diperlukan di masa yang akan datang, mengingat banyaknya tuntutan dan kebutuhan akan jaminan mutu pada peralatan nanoteknologi yang semakin besar.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada RCM-LIPI (sekarang SNSU BSN) atas dukungan dana

yang diberikan sehingga kegiatan penelitian ini dapat berjalan dengan baik. Secara khusus, penulis sampaikan terima kasih atas kontribusi rekan-rekan kelompok penelitian Nanometrologi dalam kerjasama yang telah terjalin sejak tahun 2015.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bich, W., Cox, M. G., Dybkaer, R., Elster, C., Estler, W. T., Hibbert, B., Wöger, W. (2012). Revision of the 'Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement'. *Metrologia*, 49(6), 702.
- Cox, M. G. (2007). The evaluation of key comparison data: determining the largest consistent subset. *Metrologia*, 44(3), 187.
- Darmayanti, N. T. E., Rahman, A., Nugraha, A. R. (2019). PETA KEKUATAN PENGUKURAN BERSKALA NANO DI INDONESIA. *Instrumentasi*, 42(1), 23-33.
- Elster, C., Link, A. (2001). Analysis of key comparison data: assessment of current methods for determining a reference value. *Measurement Science and Technology*, 12(9), 1431.
- Fu, J., Croarkin, M. C., Vorburger, T. V. (1994). The measurement and uncertainty of a calibration standard for the scanning electron microscope. *JOURNAL OF RESEARCH-NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY*, 99, 191-191.
- Jamakhani, M. A., Jadhav, M. R., Kamble, G. S., Gambhire, V. R. (2011). Nanometrology in biological and medical sciences. *Int. Journal of Advanced Biotechnology and Research*, 2(1), 213-223.
- Kementrian Perindustrian Republik Indonesia. (2015). *Penerapan Nanoteknologi untuk Pengembangan Industri di Indonesia*. Diakses 15 Juli 2015 dari <http://bbkk.kemenperin.go.id/?menu=home&page=news&id=38&paging=3&lang=ina>
- Meli, F. (2000). Final report of WGDM-7: Preliminary comparison on nanometrology according to the rules of CCL key comparisons. *Nano4: 1D gratings (Wabern)*.
- Nozawa, T., Arakawa, Y. (2011). Detailed balance limit of the efficiency of multilevel intermediate band solar cells. *Applied Physics Letters*, 98(17), 171108.
- Phauaknoi, P., Eom, T. B., & Takatsuji, T. (2016). Report on APMP bilateral comparison measurement of long gauge blocks by comparative method. *Metrologia*, 53(1A), 04005.
- Raj, S., Jose, S., Sumod, U. S., Sabitha, M. (2012). Nanotechnology in cosmetics: Opportunities and challenges. *Journal of pharmacy & bioallied sciences*, 4(3), 186.
- Rosario, P., Martínez, J. L., Silván, J. M. (2008). Comparison of different statistical methods for evaluation of proficiency test data. *Accreditation and quality assurance*, 13(9), 493-499.
- Sinitskii, A., Tour, J. M. (2009). Lithographic graphitic memories. *ACS nano*, 3(9), 2760-2766.
- Tian, J., Cao, G. (2013). Semiconductor quantum dot-sensitized solar cells. *Nano reviews*, 4(1), 22578.
- Trisna, B.A. (2014). *RELIABLE SYNTHESIS AND MANIPULATION OF SELF-RUNNING GALLIUM DROPLETS ON GALLIUM ARSENIDE (001) IN MBE* (Doctoral dissertation, Chulalongkorn University).
- Universitas Islam Indonesia. 2015. Aplikasi Nanoteknologi dalam Pengembangan Obat Dikaji. Diakses 15 Juli 2015 dari <http://www.uui.ac.id/content/view/3389/257/>