

Pengembangan Alat Ukur Kerataan

Arif Wahjudi

Achmad Mulyana

Jurusan Teknik Mesin – Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Abstrak

Kontrol kualitas memegang peranan penting karena kontrol kualitas akan menentukan apakah suatu produk sesuai dengan spesifikasi yang dirancang atau tidak. Spesifikasi dari produk meliputi dimensi, toleransi dan geometri. Kerataan merupakan salah satu geometri yang sangat penting tetapi pemeriksannya merupakan pemeriksaan 3D yang sangat sulit dilakukan. Oleh karena itu, sebagai laboratorium yang berkonsentrasi di bidang pengukuran dan kalibrasi, Laboratorium Metrologi Industri dan Kalibrasi Dimensi Jurusan Teknik Mesin ITS perlu melakukan pengembangan khususnya pada alat ukur geometri seperti misalnya alat ukur kerataan.

Alat ukur kerataan dikembangkan dengan memilih dan menganalisa struktur rangka dengan menggunakan software CATIA V5, kemudian memilih sensor serta peralatan pembacaan dan pengendaliannya agar dapat memenuhi kecermatan dan metode yang diinginkan. Sensor displacement digunakan untuk medeteksi perubahan ketinggian permukaan, pengambilan data dan pergerakan sensor dilakukan oleh mikroprosesor, kemudian pengolahan data dan tampilan dilakukan oleh komputer.

Alat ukur yang dihasilkan dapat digunakan untuk memeriksa kerataan permukaan dengan menggunakan metode kisi dan union jack dengan kecermatan pengukuran 1 μm . Hasil pemeriksaan meliputi penyimpangan atas dan bawah dari suatu permukaan yang dapat ditampilkan secara visual 3D dengan daerah kerja alat ukur kerataan 110 x 80 mm.

Kata kunci: spesifikasi geometri, kerataan, metode kisi, metode union jack.

Pendahuluan

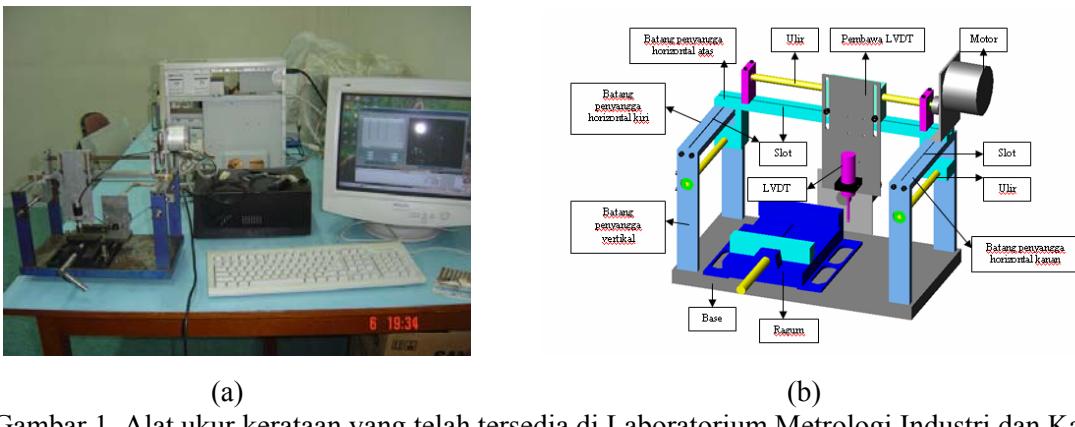
Dalam industri manufaktur khususnya pada perancangan dan pembuatan suatu produk hal yang sangat penting adalah spesifikasi dari produk. Dalam membuat suatu produk dengan bentuk dan ukuran ideal adalah tidak mungkin. Sehingga pada setiap perancangan produk hal-hal seperti dimensi, toleransi dan geometri sangat diperhatikan. Sebagai fase terakhir dari suatu proses manufaktur, maka kontrol kualitas sangat memegang peranan penting. Karena kontrol kualitas ini akan menentukan, apakah suatu produk sesuai dengan spesifikasi yang dirancang atau tidak, atau tepatnya apakah suatu produk sesuai dengan kualitas yang dibutuhkan atau harus diperbaiki.

Kerataan merupakan salah satu geometri yang sangat penting dan banyak terdapat pada komponen mesin (elemen mesin) seperti misalnya *base* dari suatu mesin atau alat ukur. Untuk memeriksa kerataan permukaan dari suatu produk, suatu alat ukur kerataan diperlukan. Kerataan permukaan merupakan salah satu dari spesifikasi geometris. Pemeriksaan spesifikasi geometris merupakan pemeriksaan 3D yang sangat sulit dilakukan. Oleh karena itu, sebagai laboratorium yang berkonsentrasi di bidang pengukuran dan kalibrasi, Laboratorium Metrologi Industri dan Kalibrasi Dimensi Jurusan Teknik Mesin ITS perlu memiliki penelitian dan arah pengembangan khususnya pada alat-alat ukur geometri antara lain seperti alat ukur ketegak lurusan, alat ukur kebulatan dan kesilindrisan serta alat ukur kerataan.

Alat ukur kerataan permukaan dengan memanfaatkan sensor *Linear Variable Differential Transducer* (LVDT) telah dimiliki oleh Laboratorium Metrologi Industri dan Kalibrasi Dimensi. Alat tersebut merupakan hasil karya dari mahasiswa Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS. [Agus Pramono dan

Edwin Priventa S; 2004], akan tetapi alat ukur kerataan ini masih dirasa belum cukup handal. Oleh karena itu, perancangan kembali alat ukur kerataan ini masih dapat dilakukan sebagai penelitian lebih lanjut.

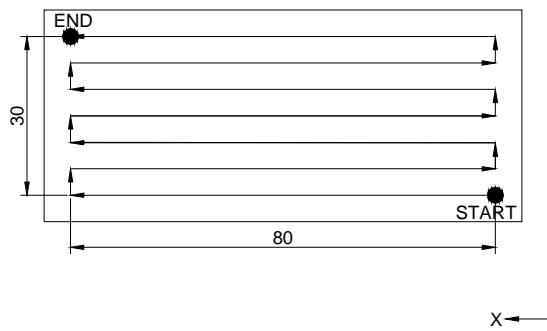
Alat ukur kerataan permukaan terdiri dari tiga bagian utama yaitu unit pengkondisian sinyal, unit pengolah data, dan unit mekanisme penggerak. Alat ukur tersebut dapat dilihat pada gambar 1 (a) dan (b).



Gambar 1. Alat ukur kerataan yang telah tersedia di Laboratorium Metrologi Industri dan Kalibrasi Dimensi Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS. [Agus Pramono, Edwin; 2004]

Cara kerja alat tersebut adalah sebagai berikut:

1. Ujung sensor LVDT disentuhkan tepat pada titik awal pengukuran yang tercetak pada benda kerja.
2. Perintah pengambilan data dimasukkan ke dalam unit pengolah data yang berupa jarak pergerakan LVDT ke arah sumbu x, arah sumbu y dan jarak tiap titik pengambilan data.
3. Perintah dikirim ke unit pengkondisian sinyal yang selanjutnya diterjemahkan menjadi sinyal analog untuk memutar motor stepper.
4. LVDT bergerak dengan gerakan seperti pada gambar 2 pada arah sumbu x dan sumbu y sejauh arah yang telah ditentukan. Sensor LVDT mengambil data pada setiap titik dengan jarak yang telah ditentukan.



Gambar 2. Lintasan pengukuran percobaan benda ukur dilihat dari atas

5. Ketika LVDT telah mencapai titik terakhir pengukuran, maka LVDT akan bergerak kembali ke titik awal pengukuran.

Dari evaluasi terhadap alat ukur kerataan yang sudah ada, maka beberapa kekurangan ditemukan sebagai berikut:

1. Komunikasi data lambat (92 msec untuk satu kali kerja pengambilan data) karena menggunakan fasilitas PPI8255 yang dipasang di slot ISA.
2. Motor stepper yang ada torsinya kecil, akibatnya mekanisme gerak tersendat-sendat (terkadang slip).
3. Alat ukur hanya dapat digunakan pada komputer yang mempunyai kartu PPI8255 pada slot ISA.
4. Metode yang digunakan untuk mengukur hanya metode kisi (grid).

5. Sambungan antara batang horizontal dengan batang vertikal tidak rigid karena batang-batang penyangga yang digunakan tidak memiliki ketebalan yang cukup dan jumlah sambungan terlalu banyak.
6. Pergerakan batang penyangga horizontal atas tidak lancar dan cenderung tersendat-sendat karena penggunaan slot yang menyebabkan gaya gesek cukup besar.
7. Terjadi slip atau ketidaksesuaian putaran antara motor dan ulir penggerak karena penggunaan belt yang tidak dapat menjamin adanya transfer daya yang baik.

Oleh karena adanya beberapa kekurangan dari alat ukur kerataan yang sudah ada, maka penelitian ini bertujuan untuk merancang kembali dan mengembangkan alat ukur kerataan tersebut agar mampu memberikan hasil pengukuran yang lebih akurat. Penelitian dilakukan dengan merancang kembali pengolah sinyal agar dapat mentransportasikan data lebih cepat, menambah kelengkapan program interface sehingga gerakan sensor dapat diatur dengan mudah baik untuk metode-metode pemeriksaan, dan merancang kembali unit mekanisme penggerak yang lebih rigid dengan memanfaatkan software analisa CATIA V5. Disamping itu, pengembangan meliputi penambahan metode pemeriksaan *Union Jack* juga dilakukan.

Metode Penelitian

Perancangan kembali rangka dan mekanisme gerak alat ukur dilakukan untuk memperbaiki rigiditas alat ukur. Untuk itu, tahapan-tahapan sebagai berikut perlu dilakukan:

- Membahas bagian-bagian utama alat ukur untuk dikembangkan.
- Membahas beberapa alternatif model yang akan dijadikan rangka alat ukur.
- Menentukan model rangka alat ukur kedataran yang diambil dari beberapa alternatif model rangka alat ukur.
- Menganalisa rancangan rangka alat ukur khususnya pada lenturan masing-masing batang dengan menggunakan software CATIA V5 dan perencanaan komponen penggerak yaitu ulir penggerak dan servomotor.

Untuk memperbaiki proses pengolahan signal, maka perancangan kembali system akuisisi data berupa unit pengolah sinyal dan unit pengolah data perlu dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

- Pengembangan unit pengkondisian sinyal
Pembuatan sistem pengambilan data dan mengubah data analog ke digital sehingga dapat dibaca oleh komputer sampai dengan kecermatan $1 \mu\text{m}$.
- Pengembangan program *interface* komputer
Program yang dibuat adalah program *interface* data dan pengontrolan motor DC servo sehingga pergerakan sensor dapat dikendalikan oleh computer secara otomatis.

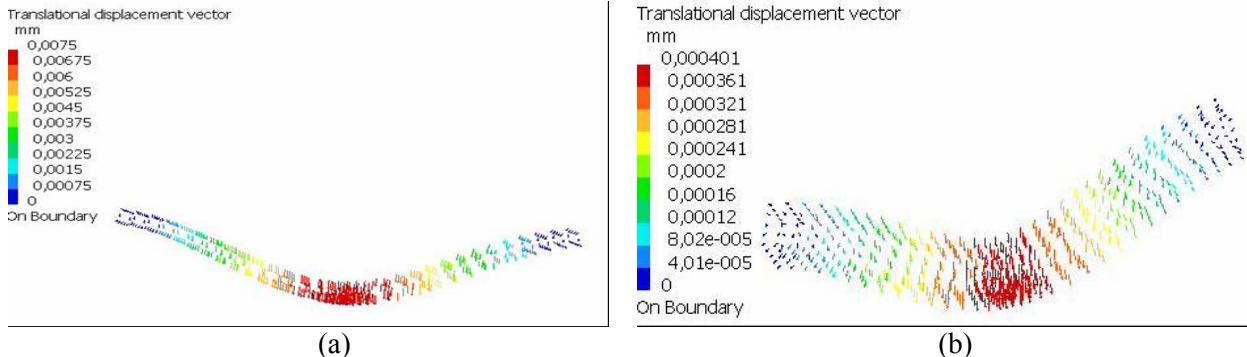
Melakukan kalibrasi peralatan (Sensor LVDT yang mempunyai panjang stroke $\pm 2,5 \text{ mm}$) menggunakan serangkaian blok ukur Grade 1 dan dengan bantuan *stand* untuk mendapatkan suatu hubungan linier antara *stroke* (perubahan jarak) sensor LVDT dengan perubahan data bit yang disesuaikan dengan data bit ADC yang digunakan.

Melakukan percobaan pengukuran terhadap benda ukur standar. Benda ukur standar yang digunakan adalah balok yang sudah diyakini kedatarannya. Untuk mengukur kerataan bidang dilakukan dengan cara pengambilan titik-titik pada permukaan balok yang berbentuk persegi panjang dengan metode kisi dan dengan metode *Moody (union-jack)*.

Membandingkan hasil pengukuran (verifikasi) yaitu mengukur kerataan bidang dari benda ukur tersebut dengan sensor LVDT dan dial indikator yang masing-masing dipasang pada mekanisme kemudian hasil pengukuran dengan menggunakan sensor LVDT dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan dial indikator.

Hasil dan Pembahasan

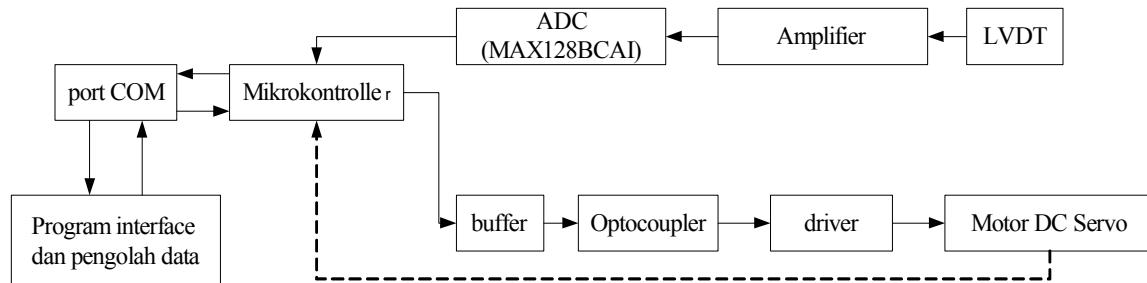
Langkah awal yang harus peneliti lakukan adalah memperbaiki rigiditas dari rangka alat ukur karena rigiditas ini mempengaruhi lenturan rangka alat ukur sewaktu menerima beban. Rigiditas dapat ditingkatkan dengan cara menambah dimensi arah vertical dari rangka alat ukur. Berdasarkan analisa dengan menggunakan software CATIA V5, penambahan dimensi rangka arah vertical dari 10 mm menjadi 30 mm dapat mengurangi lenturan rangka dari $7,5 \mu\text{m}$ menjadi $0,4 \mu\text{m}$ seperti terlihat pada gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3. Analisa lenturan (a) sebelum dan (b) sesudah pengembangan dengan menggunakan software CATIA V 5

Selain menambah dimensi rangka, peneliti juga merubah posisi ulir penggerak dari posisi kanan-kiri sistem menjadi di posisi tengah sistem sehingga gerakan sistem menjadi lebih sinkron.

Unit pengambilan data juga mengalami sedikit pengembangan dimana alat ukur yang sudah ada menggunakan fasilitas PPI8255 yang dipasang di slot ISA sehingga semua pengendalian dilakukan oleh komputer, sedangkan alat ukur hasil pengembangan menggunakan mikrokontroler untuk mengendalikan jalur pengambilan data. Mikrokontroler dihubungkan dengan komputer melalui port serial agar data dapat diolah dan ditampilkan oleh komputer. Skema pengambilan data dari alat ukur hasil pengembangan dapat dilihat pada gambar 4 sebagai berikut.

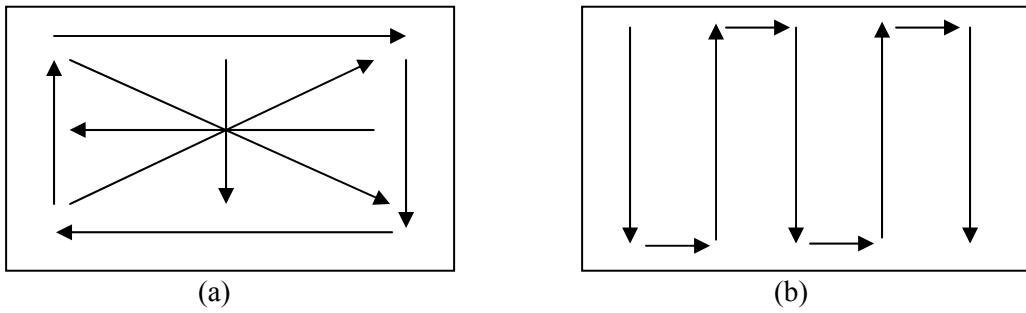


Gambar 4. Skema pengambilan data alat ukur kedataran

Jenis sensor yang digunakan tidak mengalami perubahan yaitu sensor *Linier Variable Displacement Transducer* (LVDT), hanya saja untuk mengkompensasi menurunnya resolusi *Analog to Digital Converter* (ADC) yang digunakan dari 14 bit menjadi 12 bit maka stroke LVDT dikurangi dari $\pm 2,5 \text{ mm}$ menjadi $\pm 1,5 \text{ mm}$ agar resolusi pengukuran dapat mencapai $1 \mu\text{m}$. Signal dari sensor LVDT dikondisikan terlebih dahulu dengan menggunakan rangkaian Operational Amplifier agar sesuai dengan spesifikasi ADC. Data pengukuran yang sudah berupa data digital diambil oleh mikrokontroler untuk diteruskan ke komputer untuk diolah. Untuk mengendalikan gerakan pembawa sensor, mikrokontroler mengendalikan driver untuk memutar motor servo dimana motor servo ini akan memutar ulir penggerak yang menggerakkan pembawa sensor. Untuk mengetahui posisi gerakan pembawa sensor, mikrokontroler membaca optocoupler yang dirangkai sebagai encoder yang dihubungkan dengan motor servo.

Proses pengambilan data kerataan menggunakan dua metode yaitu metode kisi (*grid*) dan metode *union jack* pada daerah kerja arah X adalah 110 mm dan arah Y sebesar 80 mm. Tetapi pada saat dilakukan evaluasi setiap peralatan, ditemukan beberapa kekurangan. Kekurangan-kekurangan tersebut dapat mempengaruhi proses pengambilan data kerataan permukaan.

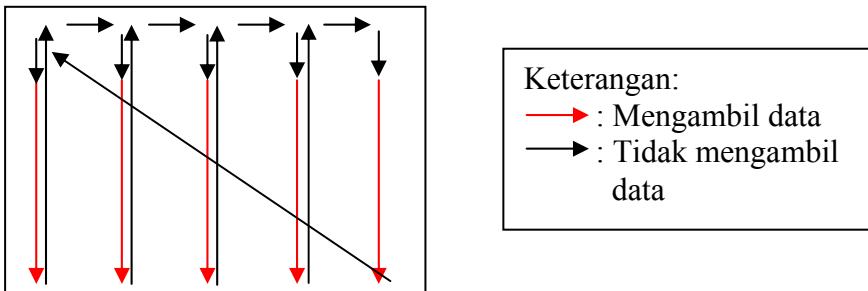
Pada batang sensor LVDT, bila terkena gaya dari samping, nilai databit akan berubah antara 10 – 15 databit. Artinya data pengukuran juga akan berubah sekitar 10 – 15 μm . Menurut metode kisi dan *union jack*, seharusnya sensor melakukan pengambilan data pada arah-arah seperti pada gambar 5 sebagai berikut.



Gambar 5. Arah gerakan batang sensor dengan (a) metode kisi (b) metode union jack

Kedua gerakan di atas dilakukan oleh sensor dengan ujung batang sensor menyentuh permukaan benda kerja. Dengan kedua metode tersebut, batang sensor mendapat gaya dengan arah yang berbeda-beda karena adanya gaya gesek antara permukaan dengan ujung batang sensor. Gaya dengan arah yang selalu berubah menimbulkan error pembacaan antara 10 – 15 μm .

Oleh karena itu, proses pengambilan data dibuat agar batang sensor hanya menerima gaya gesek dari satu arah saja. Jadi untuk metode union jack maupun metode kisi digunakan gerakan dengan arah yang sama untuk pengambilan data dengan gerakan seperti berikut:



Gambar 6. Gerakan sensor saat pengambilan data

Resume Pengembangan Alat Ukur Kerataan

Sebagai resume dari pengembangan alat ukur kerataan, kami dapat memberikan perbedaan komponen alat ukur antara produk yang sudah ada dengan yang baru.

Tabel I. Pengembangan yang telah dilakukan.

Alat ukur kerataan yang sudah ada	Alat ukur kerataan hasil pengembangan	Keterangan
1. Dimensi penampang rangka 10 mm x 30 mm.	1. Dimensi penampang rangka 28 mm x 30 mm.	1. Agar rangka menjadi lebih rigid.
2. Posisi ukir penggerak di sisi kanan dan kiri sistem.	2. Posisi ulir penggerak di tengah sistem.	2. Agar pergerakan menjadi seimbang.
3. Motor penggerak yang digunakan adalah motor stepper.	3. Motor penggerak yang digunakan adalah motor servo.	3. Agar daya motor lebih besar sehingga pergerakan tidak tersendat-sendat.

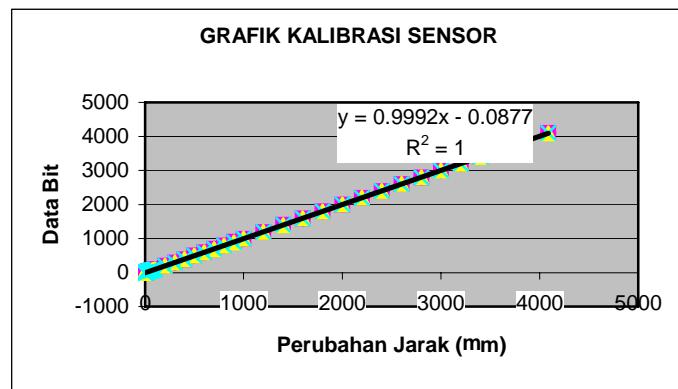
4. Analog to Digital Converter (ADC) yang digunakan adalah ADC 14 bit.	4. Analog to Digital Converter (ADC) yang digunakan adalah ADC 12 bit.	4. Agar harganya lebih murah.
5. Stroke sensor LVDT yang digunakan adalah $\pm 2,5$ mm.	5. Stroke sensor LVDT yang digunakan adalah $\pm 1,5$ mm.	5. Agar kecermatan $1 \mu\text{m}$ tetap tercapai.
6. Tidak menggunakan mikrokontroller sebagai pengontrol transportasi signal data.	6. Menggunakan mikrokontroller sebagai pengontrol transportasi signal data.	6. Untuk mempercepat transportasi signal data.
7. Menggunakan slot ISA sebagai jalur data.	7. Menggunakan port serial sebagai jalur data.	7. Agar dapat digunakan pada semua komputer.
8. Proses pengendalian untuk metode kisi.	8. Proses pengendalian untuk metode kisi dan metode Union Jack.	8. Agar lebih banyak metode pemeriksaan yang dapat dilakukan.

Kalibrasi Alat Ukur dan Verifikasi Pengukuran

Kalibrasi pertama yang harus dilakukan adalah kalibrasi sensor LVDT. Kalibrasi LVDT dilakukan dengan membandingkannya dengan *gauge block grade 1*. Adapun proses kalibrasi dan hasilnya dapat dilihat pada gambar 7 sebagai berikut.



(a)



(b)

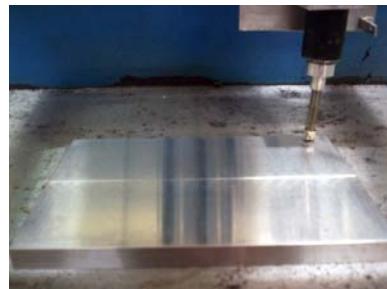
Gambar 7. Kalibrasi sensor LVDT (a) proses kalibrasi (b) hasil kalibrasi

Dari gambar 7 terlihat bahwa output yang diberikan oleh sensor LVDT pada arah operasinya sangat linier sehingga dapat digunakan untuk merasakan perubahan ketinggian pada pemeriksaan kerataan permukaan.

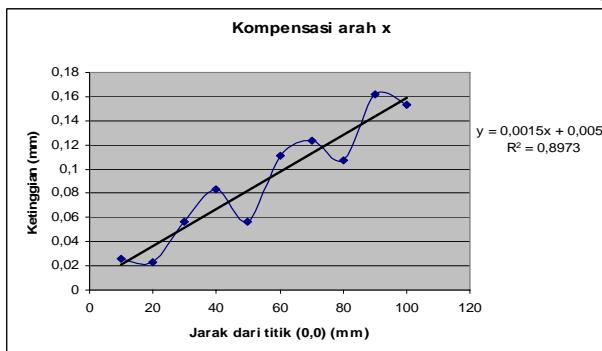
Pemeriksaan Kemiringan Base

Pada pemeriksaan kerataan permukaan dengan menggunakan metode kisi, posisi obyek ukur harus datar sehingga diperlukan alat bantu berupa *jack screw* untuk melevelnya. Pada kondisi ini, kemiringan base menjadi tidak berpengaruh. Akan tetapi, akan berbeda halnya jika kita menerapkan metode union jack. Metode ini tidak menggunakan *jack screw*, posisi datar diperoleh melalui perhitungan sehingga kemiringan base menjadi sangat berpengaruh pada hasil pengukuran. Oleh karena itu, kemiringan base perlu diketahui untuk diikutkan dalam pengolahan data sebagai kompensasi kemiringan base.

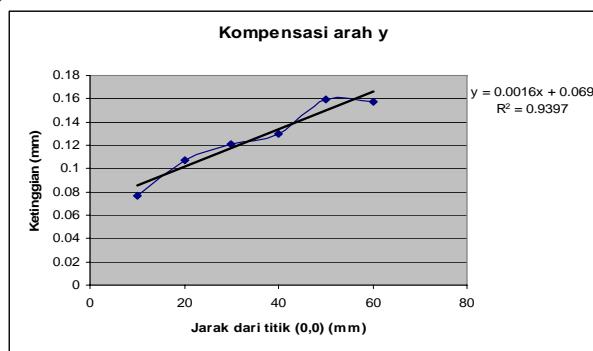
Pemeriksaan kemiringan base dilakukan dengan menggunakan balok paralel yang dianggap mempunyai kerataan permukaan yang baik. Balok paralel ini diletakkan pada base kemudian diukur dengan menggunakan sensor LVDT. Proses pemeriksaan beserta hasilnya dapat dilihat pada gambar 8. Dari gambar 8 diperoleh hasil bahwa base dalam keadaan miring sehingga pengolahan data harus dikompensasi sebesar $0,0015 \times$ posisi pengukuran X dan $0,0016 \times$ posisi pengukuran Y.



(a)



(b)

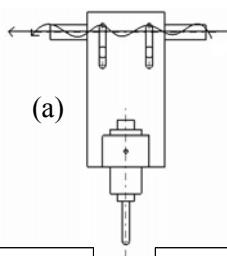


(c)

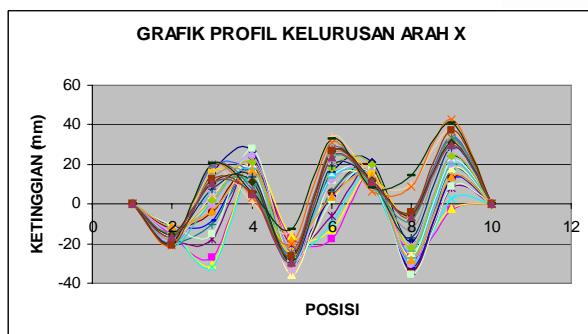
Gambar 8. Pemeriksaan Kemiringan base (a) proses pemeriksaan (b) hasil pemeriksaan pada arah X
(c) hasil pemeriksaan pada arah Y

Pemeriksaan Kelurusan Gerak

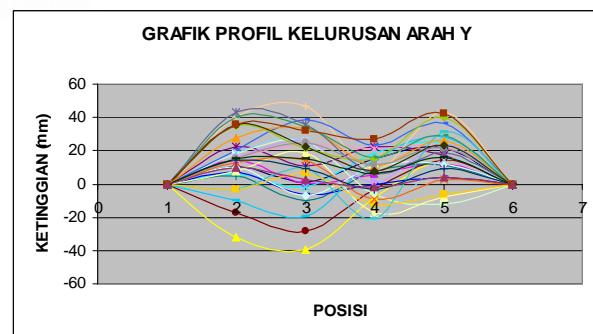
Kelurusan gerak dari pembawa sensor sangat mempengaruhi hasil pembacaan pengukuran karena ketidak lurusan gerak pembawa sensor akan memberikan kesalahan pengukuran. Oleh karena itu, kelurusan gerak pembawa sensor perlu diperiksa. Model dan hasil pemeriksaan kelurusan gerak pembawa sensor dapat dilihat pada gambar 9.



(a)



(b)



(c)

Gambar 9. Pemeriksaan kelurusan gerak pembawa sensor (a) model ketidak lurusan
(b) hasil pemeriksaan arah X (c) hasil pemeriksaan arah Y

Dari gambar 9 terlihat bahwa kelurusan gerak dari pembawa sensor mengalami penyimpangan. Penyimpangan dari kelurusan gerak pembawa sensor adalah $55 \pm 12 \mu\text{m}$ (tingkat keyakinan 95%) untuk arah x dan $31 \pm 13 \mu\text{m}$ (tingkat keyakinan 95%) untuk arah y.

Verifikasi Alat Ukur

Setelah alat ukur dikalibrasi dan diperiksa, alat ukur kerataan hasil pengembangan juga perlu diverifikasi. Verifikasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran alat ukur kerataan hasil pengembangan dengan pemeriksaan menggunakan dial indikator yang mempunyai kecermatan $1 \mu\text{m}$ dengan bantuan meja rata pada metode yang sama.. Secara statistik menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang significant antara keduanya.

Kesimpulan

1. Alat ukur kerataan hasil pengembangan dapat berfungsi dengan baik karena dapat mengikuti pola yang diharapkan (metode kisi dan Union Jack), kecermatan yang dapat dicapai adalah $1 \mu\text{m}$ dan fasilitas tampilan hasil pengukuran secara 3D. Daerah kerja alat ukur kerataan adalah arah X sebesar 110 mm dan ke arah Y sebesar 80 mm.
2. Sensor LVDT yang digunakan mempunyai kelinieran sangat bagus.
3. Pembuatan base tidak sempurna sehingga posisinya miring terhadap gerakan sensor. Oleh karena itu, data yang diperoleh perlu dikompensasi terhadap kemiringan base yaitu $0,0015X$ dan $0,0016Y$ dimana X dan Y adalah posisi pengukuran dalam satuan mm.
4. Pembuatan mekanisme yang menggerakkan sensor juga tidak lurus sehingga timbul kesalahan pengukuran karena adanya penyimpangan kelurusan sebesar $55 \pm 12 \mu\text{m}$ untuk arah x dan $31 \pm 13 \mu\text{m}$ untuk arah y.
5. Verifikasi alat ukur dilakukan dengan menggunakan dial indikator pada meja rata. Secara statistik, hasil yang diperoleh alat ukur kerataan hasil pengembangan tidak berbeda dengan pemeriksaan menggunakan dial indikator dan meja rata.

Daftar Pustaka

1. Pramono, A., 2004, *Perancangan Mekanisme Alat Ukur Profil*, Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya.
2. Priventa, E., 2004, *Perancangan Sistem Kontrol Pengukuran untuk Pengembangan Alat Ukur Profil*, Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya.
3. Spiegel, L., Limbrunner G. F., 1996, *Applied Statics and Strength of Materials*, Prentice Hall, New Jersey.
4. Griffith, G. K., 1994, *Geometric Dimensioning and Tolerance Applications and Inspection*, Prentice Hall, New Jersey.
5. Rochim, T., 1985, *Spesifikasi Geometris Metrologi Industri dan Kontrol Kualitas*, Lab. Teknik Produksi dan Metrologi Industri Jur. Teknik Mesin FTI – ITB, Bandung.