

**Pengukuran Benda Kerja Menggunakan *Touch Trigger Probe*
Pada Mesin CNC Dengan Basis Pemrograman Makro**

***Measuring Workpieces Using Touch Trigger Probe On CNC
Machines Based Macro Programming***

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Nicholas Aditya Novianto

NPM: 213030079



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2024**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Nicholas Aditya Novianto

NPM : 213030079

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam Skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil plagiarisme.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 20 September 2024

Penulis,



METERAI
TEMPEL
20
240ALX40210099

Nicholas Aditya Novianto

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai civitas akademik Universitas Pasundan, saya:

Nama : Nicholas Aditya Novianto

NPM : 213030079

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Jenis Karya : Skripsi, makalah, laporan magang kerja, karya profesi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Pengukuran Benda Kerja Menggunakan *Touch Trigger Probe* Pada Mesin CNC Dengan Basis Pemrograman Makro”

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta, Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 20 September 2024

Yang menyatakan,

A handwritten signature in black ink is written over a 20,000 Rupiah postage stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'REPUBLIK INDONESIA', '20 METRAL TEPEL', and '04BA 1022/805'.

Nicholas Aditya Novianto

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Pengukuran Benda Kerja Menggunakan *Touch Trigger Probe* Pada Mesin CNC Dengan Basis Pemrograman Makro



Nama: Nicholas Aditya Novianto
NPM: 213030079

Pembimbing Utama

Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

Pembimbing Pendamping

Mohammad Reza Herrawan, S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Pengukuran Benda Kerja Menggunakan *Touch Trigger Probe* Pada Mesin CNC Dengan Basis Pemrograman Makro



Nama: Nicholas Aditya Novianto
NPM: 213030079

Tanggal sidang skripsi: 26 September 2024

Ketua : Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

Sekretaris : Mohammad Reza Hermawan, S.T.,M.T.

Anggota : Dr. Ir. Sugiharto, M.T.

Anggota : Dr. Ir. Dedi Lazuardi, DEA.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmatnya sehingga laporan skripsi yang berjudul “Pengukuran Benda Kerja Menggunakan *Touch Trigger Probe* Pada Mesin CNC Dengan Basis Pemrograman Makro” dapat terselesaikan dengan baik dan benar.

Penyusunan laporan skripsi ini berdasarkan contoh kasus nyata di dunia industri dan hasil dari bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan baik kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan skripsi ini,
2. Bapak Dr. Ir. Sugiharto, M.T. sebagai ketua program studi Teknik Mesin Universitas Pasundan,
3. Bapak Dr. Ir. Ade Bagdja, MME. sebagai pembimbing utama,
4. Bapak Mohammad Reza Hermawan, S.T., M.T. sebagai pembimbing pendamping,
5. Bapak Miftakhun Hadi sebagai pembimbing industri,
6. Rekan-rekan Teknik Mesin 20 dan semua pihak yang terlibat dalam membantu penulis menyelesaikan laporan skripsi ini.

Pada laporan skripsi ini sangat dimungkinkan masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki. Segala bentuk kritik dan saran akan dengan senang hati diterima dan diharapkan dapat membantu dalam penulisan laporan selanjutnya agar lebih baik lagi. Semoga laporan skripsi ini dapat menambah wawasan dan pengetahuan bagi pembaca.

Bandung, 20 September 2024



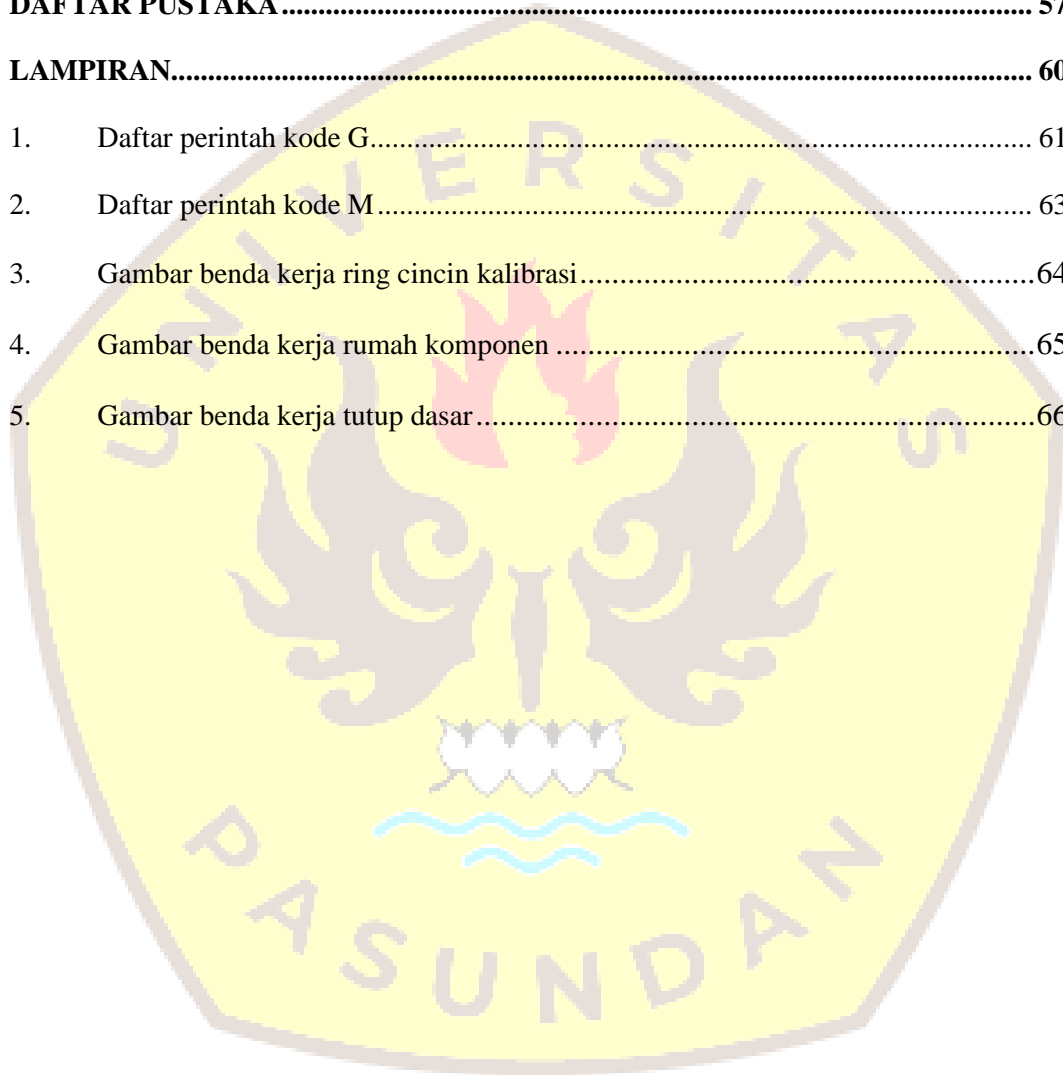
Nicholas Aditya Novianto

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	i
SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
ABSTRAK	xi
(ABSTRACT)	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1. Latar belakang.....	1
2. Rumusan masalah	2
3. Tujuan	2
4. Manfaat	3
5. Batasan masalah.....	3
6. Sistematika penulisan.....	4
BAB II STUDI LITERATUR	6
1. Permesinan konvensional dan non-konvensional.....	6
2. Mesin perkakas CNC	7
3. Program makro dan subprogram	10
4. Program makro terkait pengukuran	13
A. Mengkalibrasi panjang <i>probe</i> -makro P9801	13
B. Mengkalibrasi <i>offset stylus</i> X dan Y-makro P9802.....	14
C. Mengkalibrasi radius <i>stylus ball</i> vektor-makro P9804	14

D.	Pengukuran <i>single surface</i> XYZ-makro P9811	15
E.	Pengukuran <i>web/pocket</i> -makro P9812	16
F.	Pengukuran <i>web/pocket</i> miring -makro P9822.....	17
G.	Pengukuran lingkaran 4 titik-makro P9814	18
H.	Pengukuran lingkaran 3 titik-makro P9823	18
I.	Pengukuran jarak permukaan dengan pusat lingkaran-makro P9834	19
J.	Menghidupkan <i>probe</i> -makro P9832.....	20
K.	Mematikan <i>probe</i> -makro P9833	20
L.	Pemosisian terlindungi (<i>probe trigger monitor</i>)-makro P9810	20
M.	Keluaran data.....	21
5.	Sistem pemicu sentuh <i>probe</i>	22
6.	Implementasi pengukuran.....	23
7.	Deskripsi TTP	25
BAB III METODE PENELITIAN		26
1.	Tahapan penelitian	26
2.	Mesin dan benda kerja yang digunakan	28
3.	Metode pengolahan data hasil pengukuran.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		30
1.	Kalibrasi menggunakan ring cincin	30
	A. Setup program kalibrasi ring cincin	30
	B. Pembahasan hasil kalibrasi ring cincin.....	32
2.	Pengukuran pertama dengan rumah komponen	33
	A. Setup program pengukuran rumah komponen.....	33
	B. Pembahasan hasil pengukuran rumah komponen	42
3.	Pengukuran kedua dengan tutup dasar	45

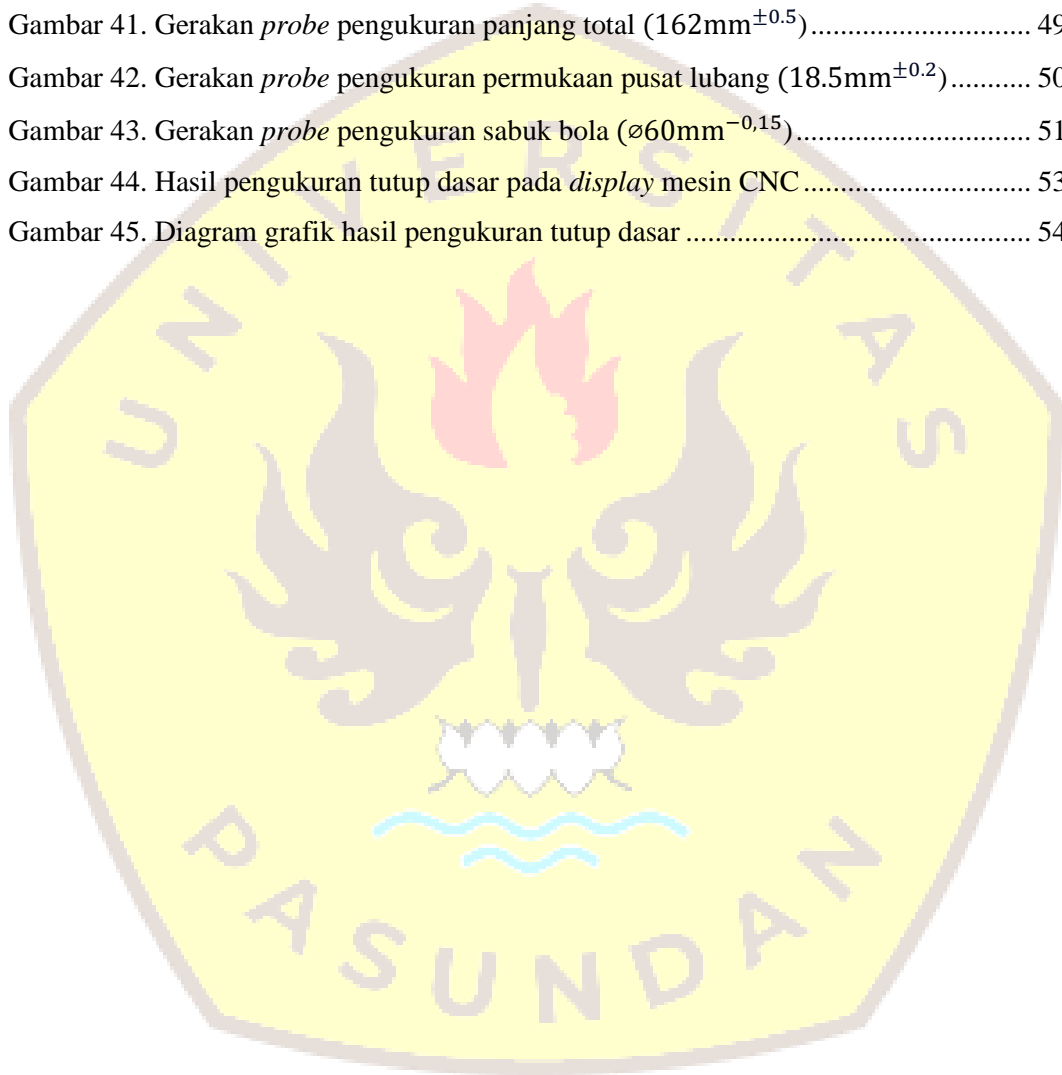
A. Setup program pengukuran tutup dasar	45
B. Pembahasan hasil pengukuran tutup dasar.....	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	56
1. Kesimpulan	56
2. Saran	56
DAFTAR PUSTAKA.....	57
LAMPIRAN.....	60
1. Daftar perintah kode G.....	61
2. Daftar perintah kode M.....	63
3. Gambar benda kerja ring cincin kalibrasi.....	64
4. Gambar benda kerja rumah komponen	65
5. Gambar benda kerja tutup dasar	66



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Mesin CNC	7
Gambar 2. Contoh program kode G.....	8
Gambar 3. Contoh program kode M	9
Gambar 4. Penggunaan CAD/CAM.....	10
Gambar 5. Contoh sederhana penggunaan program makro dan subprogram	12
Gambar 6. Mengkalibrasi panjang <i>probe</i> [10]	13
Gambar 7. Mengkalibrasi <i>offset stylus</i> X dan Y [10].....	14
Gambar 8. Mengkalibrasi radius <i>stylus ball</i> vektor [10].....	14
Gambar 9. Pengukuran sebuah permukaan [10]	15
Gambar 10. Pengukuran <i>web</i> dan <i>pocket</i> [10]	16
Gambar 11. Pengukuran <i>web/pocket</i> bersudut [10]	17
Gambar 12. Pengukuran fitur lingkaran [10]	18
Gambar 13. Pengukuran lingkaran 3 titik [10].....	18
Gambar 14. Pengukuran jarak dari permukaan dengan titik pusat lingkaran	19
Gambar 15. Posisi terlindungi <i>probe</i> [10].....	20
Gambar 16. Struktur format fungsi DPRNT [2]	21
Gambar 17. Skema <i>probe switching</i> [4].....	22
Gambar 18. Benda kerja yang diuji, Siklus Pengukuran, dan Uji Pengukuran [7]	24
Gambar 19. <i>Touch Trigger Probe</i> [16]	24
Gambar 20. Diagram Alir Penelitian	26
Gambar 21. Mesin CNC HAAS 5-Axis	28
Gambar 22. <i>Probe</i> Renishaw OMP 40-2	28
Gambar 23. Ukuran-ukuran dimensi ring cincin	30
Gambar 24. Skematis TTP dan pencekaman ring cincin pada <i>bed</i> CNC.....	30
Gambar 25. Gerakan <i>probe</i> kalibrasi ring cincin.....	31
Gambar 26. Hasil kalibrasi <i>stylus ball probe</i> pada <i>display</i> mesin CNC	32
Gambar 27. Skematis TTP dan pencekaman rumah komponen pada <i>bed</i> CNC.....	33
Gambar 28. Gerakan <i>probe</i> pengukuran lubang ($\varnothing 6.3\text{mm}^{+0,05}$)	34
Gambar 29. Gerakan <i>probe</i> pengukuran lubang ($\varnothing 3.5\text{mm}^{+0,05}$)	35
Gambar 30. Gerakan <i>probe</i> pengukuran lubang ($\varnothing 3.1\text{mm}^{+0,05}$)	36
Gambar 31. Gerakan <i>probe</i> pengukuran lubang ($\varnothing 3.4\text{mm}^{+0,05}$)	37
Gambar 32. Gerakan <i>probe</i> pengukuran lubang ($\varnothing 3.5\text{mm}^{+0,05}$)	38
Gambar 33. Gerakan <i>probe</i> pengukuran lubang ($\varnothing 11\text{mm}^{+0,1}$).....	39

Gambar 34. Gerakan <i>probe</i> pengukuran lubang ($\varnothing 6.3\text{mm}^{+0,05}$)	40
Gambar 35. Hasil pengukuran rumah komponen pada <i>display</i> mesin CNC.....	42
Gambar 36. Diagram grafik hasil pengukuran rumah komponen.....	43
Gambar 37. Posisi benda kerja tutup dasar	45
Gambar 38. Skematis TTP dan pencekaman tutup dasar pada <i>bed</i> CNC	46
Gambar 39. Gerakan <i>probe</i> pengukuran lubang ($\varnothing 18\text{mm}^{\pm 0,2}$).....	46
Gambar 40. Gerakan <i>probe</i> pengukuran permukaan pusat lubang ($130\text{mm}^{\pm 0,2}$).....	48
Gambar 41. Gerakan <i>probe</i> pengukuran panjang total ($162\text{mm}^{\pm 0,5}$).....	49
Gambar 42. Gerakan <i>probe</i> pengukuran permukaan pusat lubang ($18.5\text{mm}^{\pm 0,2}$).....	50
Gambar 43. Gerakan <i>probe</i> pengukuran sabuk bola ($\varnothing 60\text{mm}^{-0,15}$).....	51
Gambar 44. Hasil pengukuran tutup dasar pada <i>display</i> mesin CNC.....	53
Gambar 45. Diagram grafik hasil pengukuran tutup dasar	54



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penjabaran susunan program kode G.....	8
Tabel 2. Penjabaran susunan program kode M.....	9
Tabel 3. Lanjutan penjabaran susunan program kode M.....	10
Tabel 4. Spesifikasi Laser <i>Interferometer</i> XL-80 dan <i>Compensator</i> XC-80 [7].....	24
Tabel 5. Penjabaran program kalibrasi ring cincin.....	31
Tabel 6. Lanjutan penjabaran program kalibrasi ring cincin.....	32
Tabel 7. Penjabaran program pengukuran lubang ($\varnothing 6.3\text{mm}^{+0,05}$).....	34
Tabel 8. Lanjutan penjabaran program pengukuran lubang ($\varnothing 6.3\text{mm}^{+0,05}$).....	35
Tabel 9. Penjabaran program pengukuran lubang ($\varnothing 3.5\text{mm}^{+0,05}$).....	35
Tabel 10. Lanjutan penjabaran program pengukuran lubang ($\varnothing 3.5\text{mm}^{+0,05}$).....	36
Tabel 11. Penjabaran program pengukuran lubang ($\varnothing 3.1\text{mm}^{+0,05}$).....	36
Tabel 12. Lanjutan penjabaran program pengukuran lubang ($\varnothing 3.1\text{mm}^{+0,05}$).....	37
Tabel 13. Penjabaran program pengukuran lubang ($\varnothing 3.4\text{mm}^{+0,05}$).....	37
Tabel 14. Lanjutan penjabaran program pengukuran lubang ($\varnothing 3.4\text{mm}^{+0,05}$).....	38
Tabel 15. Penjabaran program pengukuran lubang ($\varnothing 3.5\text{mm}^{+0,05}$).....	39
Tabel 16. Penjabaran program pengukuran lubang ($\varnothing 11\text{mm}^{+0,1}$).....	40
Tabel 17. Penjabaran program pengukuran lubang ($\varnothing 6.3\text{mm}^{+0,05}$).....	41
Tabel 18. Penjabaran program DPRNT pengukuran rumah komponen.....	41
Tabel 19. Hasil pengukuran rumah komponen.....	42
Tabel 20. Penjabaran program pengukuran lubang ($\varnothing 18\text{mm}^{\pm 0,2}$).....	47
Tabel 21. Penjabaran program pengukuran permukaan pusat lubang ($130\text{mm}^{\pm 0,2}$).....	48
Tabel 22. Penjabaran program pengukuran panjang total ($162\text{mm}^{\pm 0,5}$).....	49
Tabel 23. Penjabaran program pengukuran permukaan pusat lubang ($18.5\text{mm}^{\pm 0,2}$).....	50
Tabel 24. Penjabaran program pengukuran sabuk bola ($\varnothing 60\text{mm}^{-0,15}$).....	51
Tabel 25. Lanjutan penjabaran program pengukuran sabuk bola ($\varnothing 60\text{mm}^{-0,15}$).....	52
Tabel 26. Penjabaran program DPRNT pengukuran tutup dasar.....	52
Tabel 27. Hasil pengukuran tutup dasar.....	53

ABSTRAK

Pengendalian mutu merupakan langkah operasional yang dilakukan di lini produksi untuk memperoleh produk yang memenuhi standar mutu yang dipersyaratkan. Pemastian mutu dari benda kerja hasil permesinan *Computer Numerical Control (CNC)*, saat ini masih dilakukan dengan pengukuran yang dilakukan di luar mesin, misalnya dengan menggunakan *micro-hite* atau *Coordinate Measuring Machine (CMM)*. Cara lain yang dilakukan saat ini adalah dengan melakukan pengukuran langsung saat benda kerja masih ada di dalam CNC (*in process measurement*). Dengan menggunakan instrumen sistem sensor ukur yang biasa disebut *Touch Trigger Probe (TTP)* dipasang di dalam CNC untuk proses pengukuran. Dengan cara ini, CNC bisa berfungsi sebagai CMM. Pada penelitian ini memiliki tujuan yaitu dapat melakukan pengukuran terhadap benda kerja pada saat benda kerja masih dicekam di dalam mesin CNC. Kelebihan dari metode ini adalah benda kerja yang dihasilkan bisa dipastikan baku mutunya sejak masih ada di dalam CNC. Dengan cara ini, pemenuhan dari standar toleransi yang ditetapkan dapat bisa langsung diketahui. Lebih lanjut data ukur benda kerja secara satu per satu bisa disimpan. Nantinya data ini akan digunakan sebagai kelengkapan mampu lacak/*traceability*. Program pengukuran dikembangkan dengan memanfaatkan program makro yang menjadi kelengkapan dari TTP *Renishaw*. Program yang dikembangkan diuji untuk kalibrasi serta melakukan pengukuran terhadap benda kerja, rumah komponen dan tutup dasar. Pada hasil pengukuran pertama rumah komponen, yang terdiri dari 7 (tujuh) bagian yang diukur, sebanyak 5 (lima) bagian tidak sesuai dan 2 (dua) bagian sesuai dengan nilai toleransi. Sedangkan, untuk pengukuran kedua tutup dasar, yang terdiri dari 5 (lima) bagian yang diukur, sebanyak 5 (lima) bagian sesuai dengan nilai toleransi. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran menggunakan TTP mempunyai keakuratan untuk mengukur benda kerja yang mempunyai nilai toleransi 0,1 mm hingga 0,5 mm. Dengan adanya pengukuran langsung di dalam mesin CNC diharapkan dapat mengetahui ukuran dimensi benda kerja secara langsung setelah dilakukannya proses permesinan.

Kata kunci: CNC, program makro, teknik pengukuran, *touch trigger probe*, toleransi dimensi & geometri.

(ABSTRACT)

Quality control is an operational step carried out in the production line to obtain products that meet the required quality standards. Quality assurance of workpieces resulting from Computer Numerical Control (CNC) machining is currently still carried out by measurements carried out outside the machine, for example by using micro-hite or Coordinate Measuring Machine (CMM). Another method currently used is to take direct measurements while the workpiece is still in the CNC (in process measurement). By using a measuring sensor system instrument commonly called the Touch Trigger Probe (TTP) installed in the CNC for the measurement process. In this way, the CNC can function as a CMM. This study aims to be able to measure the workpiece while the workpiece is still being held in the CNC machine. The advantage of this method is that the workpiece produced can be ascertained to its quality standards since it is still in the CNC. In this way, the fulfillment of the specified tolerance standards can be immediately known. Furthermore, the measurement data of the workpieces can be stored one by one. Later this data will be used as traceability equipment. The measurement program was developed by utilizing the macro program which is part of the Renishaw TTP. The developed program was tested for calibration and to measure the workpiece, component housing and base cover. In the first measurement result of the component housing, which consists of 7 (seven) measured parts, 5 (five) parts did not match and 2 (two) parts matched the tolerance value. Meanwhile, for the second measurement of the base cover, which consists of 5 (five) measured parts, 5 (five) parts matched the tolerance value. From this study it can be concluded that the measurement result using TTP has the accuracy to measure the workpiece which has a tolerance value of 0.1 mm to 0.5 mm. With the direct measurement in the CNC machine, it is expected to be able to know the dimensions of the workpiece directly after the machining process is carried out.

Keywords: CNC, macro program, measurement technique, touch trigger probe, dimensional & geometry tolerance.

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Pengukuran merupakan suatu cara yang dilakukan untuk bisa mendapatkan nilai dari ukuran, besaran dan dimensi suatu benda kerja. Praktek umum yang ada di industri saat ini, proses permesinan terpisah dengan proses pengukuran. Hal ini membuat proses produksi benda kerja menjadi kurang efisien dikarenakan harus melepas pasang benda kerja dalam melakukan pengukuran, selain itu alat ukur yang digunakan juga masih manual seperti menggunakan jangka sorong yang mempunyai ketelitian 0,1 mm [1]. Seperti contoh: pada permesinan konvensional mesin *surface grinding* dalam melakukan pengukuran terhadap benda kerja, maka benda kerja harus dicopot atau dilepas terlebih dahulu dari ragum (*vise*) baru bisa melakukan pengukuran dengan alat ukur jangka sorong. Resiko kesalahan dalam melakukan pengukuran terpisah ini cukup besar, selain bisa terjadi kesalahan karena *human error* dalam mengukur, ditambah dengan kesalahan dalam memasang benda kerja pada ragum.

Seiring perkembangan zaman, benda kerja akan melalui berbagai proses pengecekan ukuran setelah selesai dari proses permesinan untuk mengetahui kesalahan geometri dan ukuran. Dengan menggunakan peralatan ukur dengan tingkat akurasi dan kepresisian yang tinggi, seperti CMM. CMM ini pada umumnya, lokasinya ditempatkan terpisah pada ruangan tersendiri, berbeda dari proses permesinan. Proses ini memerlukan biaya produksi yang relatif tinggi secara keseluruhan sebagai konsekuensinya. Resiko lainnya adalah meningkatkan waktu tunggu untuk mendapatkan sebuah benda kerja akhir.

Pengembangan saat ini mencari metode lain proses pengukuran yang membuat waktu produksi menjadi lebih efisien seperti mengurangi waktu lepas pasang benda kerja dalam proses pengukuran, mengurangi anggaran biaya dengan tidak mempekerjakan operator bagian *quality control* dan bisa menekan biaya produksi secara signifikan mungkin. Oleh karena itu, untuk mengatasi persoalan tersebut, metode penggabungan antara proses permesinan dan proses pengukuran di dalam satu mesin dapat dilakukan, yang biasa disebut dengan istilah *Machine Tool Probe* (MTP) [1]. Dengan menggunakan mesin CNC, bukan lagi mesin konvensional sehingga dalam melakukan proses pengukuran di dalam mesin, memiliki fleksibilitas di mana benda kerja tidak perlu dilepas pasang lagi dalam prosesnya. Serta mampu ukur dengan menggunakan *probe* yang memiliki keakuratan tinggi terhadap hasil pengukuran. Di mana bahasa yang digunakan untuk proses pengukuran sudah menggunakan program makro. Di dalam makro harus memiliki

pemahaman penting terhadap 3 hal utama yaitu: (1) variabel, (2) fungsi konstanta dan (3) fungsi logika [2].

Untuk mengefisiensikan waktu produksi pada dunia industri, yang mendasari penelitian ini dilakukan yaitu pada saat benda kerja sudah melalui proses permesinan, langsung dilanjutkan proses pengukuran menggunakan *probe*. Dengan penggabungan proses permesinan dan proses pengukuran di dalam satu mesin CNC diharapkan akan mengurangi waktu lepas pasang benda kerja, waktu tunggu produksi, waktu pengukuran dan menghilangkan tugas dari operator bagian *quality control*. Pengukuran di dalam mesin CNC dilakukan dengan menggunakan TTP. Sistem *probe* ini, menggantikan *tools* dengan gerakan prosesnya bisa manual maupun dengan program. *Probe* akan bergerak di sekitar fitur benda kerja untuk melakukan pengukuran seperti (1) pengukuran pusat, (2) diameter luar, (3) diameter dalam, (4) panjang-lebar bagian luar, (5) panjang-lebar bagian dalam, dan (6) kedalaman benda kerja. Setelah melakukan pengukuran pada bagian-bagian benda kerja, hasil ukur akan muncul pada *display* mesin CNC secara langsung. Dengan memanfaatkan pengukuran menggunakan *probe* langsung di dalam mesin CNC, maka akan mengurangi kompensasi kesalahan sehingga otomatis dengan cepat mendapatkan toleransi dimensi benda kerja yang sesungguhnya dengan didukung oleh sensor *probe* dalam prosesnya.

2. Rumusan masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- A. Membuat program pengukuran di dalam mesin CNC menggunakan TTP.
- B. Bahasa yang digunakan adalah pemrograman makro khusus untuk proses pengukuran.

3. Tujuan

Berikut ini tujuan dari pelaksanaan penelitian ini yaitu:

- A. Melakukan pengukuran benda kerja dengan TTP pada saat benda kerja masih di dalam mesin CNC dengan menggunakan program makro khusus pengukuran.
- B. Mengetahui cara penggunaan dari program makro dengan memahami *optional input* dan variabel *output* dari setiap subprogram makro khusus pengukuran.

4. Manfaat

Berikut ini manfaat dari pelaksanaan penelitian ini adalah:

- A. Bagi mahasiswa, dapat menambah wawasan pengetahuan akan pemrograman makro dan mengetahui kegunaan TTP selama proses pengukuran di dalam mesin CNC.
- B. Bagi instansi tempat penelitian dan instansi pendidikan, dapat terciptanya hubungan yang baik dan adanya pertukaran informasi terkait penelitian ini antara PT Mikron Presisi Indonesia dengan Fakultas Teknik Universitas Pasundan.
- C. Bagi perkembangan ilmu pengetahuan, dapat menjadi sebuah ilmu pengetahuan baru yang nantinya dapat diterapkan bagi manusia untuk menjawab dan memenuhi kebutuhan akan produksi suatu produk. Dengan memiliki kualitas dan mutu yang selalu terjamin ditengah kemajuan teknologi dan zaman yang terus berkembang.
- D. Bagi industri, semakin mempermudah proses pengukuran suatu produk yang di mana tanpa harus melakukan pengukuran berulang, maka kualitas produk sudah pasti terjamin. Serta membuat waktu yang digunakan untuk pengecekan kualitas produk menjadi efisien dan pastinya akan mengurangi anggaran biaya untuk *quality control* dalam suatu industri.

5. Batasan masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- A. Benda kerja yang akan diukur yaitu ring cincin, rumah komponen dan tutup dasar.
- B. Penelitian ini dibatasi dengan menggunakan *probe* Renishaw OMP 40-2 dengan serial no. 3MK438 jenis radio frekuensi, dengan ukuran *stylus* berdiameter 6 mm.
- C. Penelitian ini dibatasi untuk kalibrasi menggunakan ring cincin \varnothing luar= 55.10 mm dan \varnothing dalam= 34.99 mm, dengan ketebalan 30 mm. Untuk lebih jelasnya, gambar ring cincin kalibrasi dapat dilihat pada Lampiran 3.
- D. Penelitian ini dibatasi untuk mengukur besaran dimensi pada rumah komponen yaitu:
 - Pengukuran lubang (A)= $\varnothing 6.3^{+0.05}$ mm.
 - Pengukuran lubang (B)= $\varnothing 3.5^{+0.05}$ mm.
 - Pengukuran lubang (C)= $\varnothing 3.1^{+0.05}$ mm.
 - Pengukuran lubang (D)= $\varnothing 3.4^{+0.05}$ mm.

- Pengukuran lubang (E)= $\varnothing 3.5^{+0.05}$ mm.
- Pengukuran lubang (F)= $\varnothing 11^{+0.1}$ mm.
- Pengukuran lubang (G)= $\varnothing 6.3^{+0.05}$ mm.

Untuk lebih jelasnya, gambar benda kerja rumah komponen yang diukur dapat dilihat pada Lampiran 4.

E. Penelitian ini dibatasi untuk mengukur besaran dimensi pada tutup dasar yaitu:

- Pengukuran lubang (A)= $18^{\pm 0.2}$ mm.
- Pengukuran permukaan dengan pusat lubang (B)= $130^{\pm 0.2}$ mm.
- Pengukuran panjang total (C)= $162^{\pm 0.5}$ mm.
- Pengukuran permukaan dengan pusat lubang (D)= $18.5^{\pm 0.2}$ mm.
- Pengukuran sabuk bola (E)= $\varnothing 60^{-0.15}$ mm.

Untuk lebih jelasnya, gambar benda kerja tutup dasar yang diukur dapat dilihat pada Lampiran 5.

F. Mesin CNC yang digunakan yaitu HAAS 5-Axis, yang memang secara khusus dapat melakukan pengukuran di dalam mesin menggunakan TTP.

6. Sistematika penulisan

Skripsi ini disusun bab demi bab dan terdiri dari lima bab. Kelima bab tersebut terdiri dari pendahuluan, studi literatur, metode penelitian, hasil dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran.

BAB I PENDAHULUAN: Berisi tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan pada laporan skripsi ini.

BAB II STUDI LITERATUR: Berisi tentang definisi-definisi dari permesinan konvensional dan non-konvensional, mesin perkakas CNC, program makro dan subprogram. Dilanjutkan program makro terkait pengukuran yang membahas tentang (1) mengkalibrasi panjang *probe*, (2) mengkalibrasi *offset stylus* X dan Y, (3) mengkalibrasi radius *stylus ball* vektor, (4) pengukuran *single surface*, (5) pengukuran *web/pocket*, (6) pengukuran *web/pocket* miring, (7) pengukuran lingkaran 4 titik, (8) pengukuran lingkaran 3 titik, (9) pengukuran jarak dari permukaan ke titik pusat lingkaran, (10) menghidupkan *probe*, (11) mematikan *probe*, (12) pemosisian terlindungi serta (13) keluaran data. Dengan

dilanjutkan membahas sistem pemacu sentuh *probe*, implementasi pengukuran, dan deskripsi TTP.

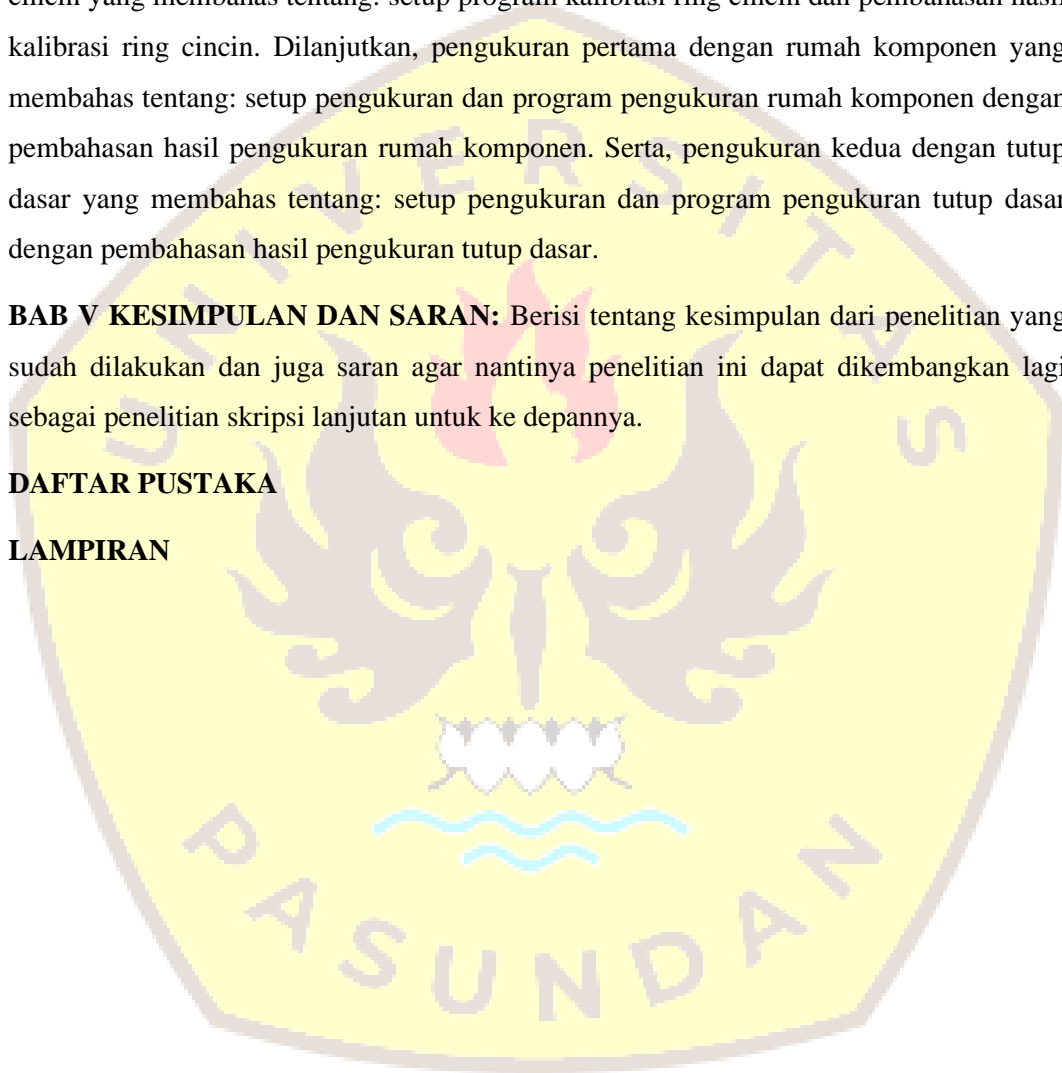
BAB III METODE PENELITIAN: Berisi tentang tahapan penelitian, mesin dan benda kerja yang digunakan serta metode pengolahan data hasil pengukuran yang digunakan untuk mencapai tujuan dari penelitian skripsi ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN: Berisi tentang kalibrasi menggunakan ring cincin yang membahas tentang: setup program kalibrasi ring cincin dan pembahasan hasil kalibrasi ring cincin. Dilanjutkan, pengukuran pertama dengan rumah komponen yang membahas tentang: setup pengukuran dan program pengukuran rumah komponen dengan pembahasan hasil pengukuran rumah komponen. Serta, pengukuran kedua dengan tutup dasar yang membahas tentang: setup pengukuran dan program pengukuran tutup dasar dengan pembahasan hasil pengukuran tutup dasar.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN: Berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang sudah dilakukan dan juga saran agar nantinya penelitian ini dapat dikembangkan lagi sebagai penelitian skripsi lanjutan untuk ke depannya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini yaitu:

- A. Pada mesin CNC HAAS 5-Axis memungkinkan untuk melakukan pengukuran benda kerja dengan TTP pada saat benda kerja masih di dalam mesin CNC. Dengan kata lain, benda kerja tidak perlu dilepas pasang untuk proses permesinan dan pengukuran. Hasil pengukuran menggunakan TTP mempunyai keakuratan untuk mengukur benda kerja yang mempunyai nilai toleransi 0,1 mm hingga 0,5 mm. Pada hasil pengukuran pertama rumah komponen, yang terdiri dari 7 (tujuh) bagian yang diukur, sebanyak 5 (lima) bagian tidak sesuai dan 2 (dua) bagian sesuai dengan nilai toleransi. Sedangkan, untuk pengukuran kedua tutup dasar, yang terdiri dari 5 (lima) bagian yang diukur, sebanyak 5 (lima) bagian sesuai dengan nilai toleransi. Untuk hasil yang tidak sesuai dengan nilai toleransi, bisa juga disebabkan benda kerja yang memang sudah *reject*/tidak sesuai dengan ukuran nilai toleransi. Selain itu, pengukuran dengan TTP mempunyai kekurangan, seperti hanya dapat mengukur bagian benda kerja dengan geometri tertentu dan dalam penggunaan *probe* harus menyediakan ukuran *stylus probe* lebih kecil dari bagian benda kerja yang diukur dengan begitu akan meminimalkan resiko *stylus probe* rusak/pecah.
- B. Dalam setiap subprogram makro khusus pengukuran akan selalu memiliki *optional input* yang di mana, setiap *optional input* memiliki format tertentu tetapi dalam setiap format tersebut pasti memiliki *compulsory input*. Selain itu, subprogram makro ini juga memiliki variabel *output* yang digunakan sebagai keluaran variabel dalam setiap fitur pengukuran. Yang disimpan pada variabel #185, #186 dan #188. Dengan, #185= posisi X, #186= posisi Y, dan #188= *size*.

2. Saran

Saran yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

- A. Program pengukuran sebenarnya bisa diumpankanbalikkan secara langsung dengan program permesinan untuk pengerjaan benda kerja selanjutnya, sehingga dapat secara langsung mengetahui ukuran-ukuran dimensi dari benda kerja.
- B. Perlu penelitian lebih lanjut dan pemastian bahwa hasil pengukuran TTP sesuai dengan hasil pengukuran dengan menggunakan alat ukur CMM.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Achelker, N. S. Rao, R. Rajendra, and A. Krishaniah, "Performance Evaluation of Machine Tool Probe for In-process Inspection of 2D and 3D Geometries," *Procedia Technol.*, vol. 14, no. Cmm, pp. 244–251, 2014, doi: 10.1016/j.protcy.2014.08.032.
- [2] P. Smid, "Fanuc CNC Custom Macros: Programming Resources for Fanuc Custom Macro B Users," pp. 267–274, 2005, [Online].
- [3] Sean, Priambudi, and Pras, "Pengertian Proses Permesinan," *Scribd.*, vol.1, no. 1-3, 2017, doi:20.45000/rdwn.v15k.4200
- [4] N. Fuady, "Mesin-mesin Non-Konvensional," *Academia.*, vol.1, no. 1-4, 2013, doi:10.35313/irwns.v13i01.4194
- [5] M. A. Hasan, "A Practical Approach to the use of Local Variables in CNC Machines Programming for Fanuc Custom Macros," *J. Mater. Sci. Mech. Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 254–257, 2016, doi:10.5020/s001800060043.
- [6] A. Woźniak and M. Dobosz, "Metrological feasibilities of CMM touch trigger probes. Part I: 3D theoretical model of probe pretravel," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 34, no. 4, pp. 273–286, 2003, doi: 10.1016/j.measurement.2003.05.001.
- [7] M. Holub, R. Jankovych, O. Andrs, and Z. Kolibal, "Capability assessment of CNC machining centres as measuring devices," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 118, no. April 2017, pp. 52–60, 2018, doi: 10.1016/j.measurement.2018.01.007.
- [8] Z. Q. Liu, "Repetitive Measurement and Compensation to Improve Workpiece Machining Accuracy," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 15, no. 2, pp. 85–89, 1999, doi: 10.1007/s001700050043.
- [9] G. Valiño, C. M. Suárez, J. C. Rico, B. J. Álvarez, and D. Blanco, "Comparison between a laser micrometer and a touch trigger probe for workpiece measurement on a cnc lathe," *Adv. Mater. Res.*, vol. 498, pp. 49–54, 2012, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.498.49.
- [10] Renishaw, "Inspection Plus software for Haas machining centres," *Programming. Manual. Renishaw. Document.*, vol. 6222, pp. 1-1 - 9-38, 2000.

- [11] Sugiharto *et al.*, “Design and Manufacturing of Cutting Motion Control System on 3-Axis Router Machine for Wood Carving,” in *2nd International Conference on Science, Technology, and Modern Society (ICSTMS 2020)*, 2021, pp. 132–136. doi: 10.2991/assehr.k.210909.031.
- [12] P. L. Teoh, B. Shirinzadeh, C. W. Foong, and G. Alici, “The measurement uncertainties in the laser interferometry-based sensing and tracking technique,” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 32, no. 2, pp. 135–150, 2002, doi: 10.1016/S0263-2241(02)00006-4.
- [13] Y. L. Shen and S. H. Moon, “Investigation of point-to-point performance test of touch trigger probes on coordinate-measuring machines,” *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 17, no. 3, pp. 247–254, 2001, doi: 10.1016/S0736-5845(00)00056-9.
- [14] M. Dobosz and A. Woźniak, “CMM touch trigger probes testing using a reference axis,” *Precis. Eng.*, vol. 29, no. 3, pp. 281–289, 2005, doi: 10.1016/j.precisioneng.2004.11.008.
- [15] M. Dobosz and A. Woźniak, “Metrological feasibilities of CMM touch trigger probes: Part II: Experimental verification of the 3D theoretical model of probe pretravel,” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 34, no. 4, pp. 287–299, 2003, doi: 10.1016/j.measurement.2003.05.002.
- [16] P. A. Cauchick-Miguel and T. G. King, “Factors which influence CMM touch trigger probe performance,” *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 38, no. 4, pp. 363–374, 1998, doi: 10.1016/S0890-6955(97)00054-0.
- [17] Z. Bohan, G. Feng, and L. Yan, “Study on pre-travel behaviour of touch trigger probe under actual measuring conditions,” *Procedia CIRP*, vol. 27, pp. 53–58, 2015, doi: 10.1016/j.procir.2015.04.043.
- [18] A. Bastas, “Comparing the probing systems of coordinate measurement machine: Scanning probe versus touch-trigger probe,” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 156, p. 107604, 2020, doi: 10.1016/j.measurement.2020.107604.
- [19] S. H. R. Ali and O. M. Mohamd, “Dimensional and geometrical form accuracy of circular pockets manufactured for aluminum, copper and steel materials on CNC milling machine using CMM,” *Int. J. Eng. Res. Africa*, vol. 17, pp. 64–73, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/JERA.17.64.

- [20] R. Zhang and Y. P. Wang, "On-machine measurement system implemented based on FANUC CNC system using a touch trigger probe," *Adv. Mater. Res.*, vol. 1016, pp. 3–7, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1016.3.
- [21] R. Wdowik, M. Magdziak, R. M. C. Ratnayake, and C. Borsellino, "Application of process parameters in planning and technological documentation: CNC machine tools and CMMs programming perspective," *Procedia CIRP*, vol. 78, pp. 43–48, 2018, doi: 10.1016/j.procir.2018.09.054.
- [22] X. Qian, W. Ye, and X. Chen, "On-machine measurement for touch-trigger probes and its error compensation," *Key Eng. Mater.*, vol. 375–376, pp. 558–563, 2008, doi: 10.4028/www.scientific.net/kem.375-376.558.
- [23] Y. Kwon, T. L. Tseng, and Y. Ertekin, "Characterization of closed-loop measurement accuracy in precision CNC milling," *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 22, no. 4, pp. 288–296, 2006, doi: 10.1016/j.rcim.2005.06.002.
- [24] K. C. Fan, F. Cheng, W. Wang, Y. Chen, and J. Y. Lin, "A scanning contact probe for a micro-coordinate measuring machine (CMM)," *Meas. Sci. Technol.*, vol. 21, no. 5, 2010, doi: 10.1088/0957-0233/21/5/054002.
- [26] J. J. Park, K. Kwon, and N. Cho, "Development of a coordinate measuring machine (CMM) touch probe using a multi-axis force sensor," *Meas. Sci. Technol.*, vol. 17, no. 9, pp. 2380–2386, 2006, doi: 10.1088/0957-0233/17/9/002.
- [27] Y. Sang, X. Wang, and W. Sun, "Research on the development of an interactive three coordinate measuring machine simulation platform," *Comput. Appl. Eng. Educ.*, vol. 26, no. 5, pp. 1173–1185, 2018, doi: 10.1002/cae.21970.
- [28] P. H. Pereira and R. J. Hocken, "Characterization and compensation of dynamic errors of a scanning coordinate measuring machine," *Precis. Eng.*, vol. 31, no. 1, pp. 22–32, 2007, doi: 10.1016/j.precisioneng.2006.01.006.
- [29] G. Zhang, R. Veale, T. Charlton, B. Borchardt, and R. Hocken, "Error Compensation of Coordinate Measuring Machines," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 34, no. 1, pp. 445–448, 1985, doi: 10.1016/S0007-8506(07)61808-3.
- [30] M. M. P. A. Vermeulen, P. C. J. N. Rosielle, and P. H. J. Schellekens, "Design of a high-precision 3D-coordinate measuring machine," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 47, no. 1, pp. 447–450, 1998, doi: 10.1016/S0007-8506(07)62871-6.