

Kompensasi Kemiringan Nampan Printer Tiga Dimensi Menggunakan *Auto Level Switch*

Zakarias Januaji^{#1}, Tunggul Arief Nugroho^{#2}, Maclaurin Hutagalung^{#3}

[#]Departemen Teknologi Informasi, Institut Teknologi Harapan Bangsa
Jalan Dipatiukur No. 80-84, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

¹zjanuaji@gmail.com

²t.ariief.n@gmail.com

³maclaurin@gmail.com

Abstract— 3D printer around the world separated in many kinds. Printers for personals or home usage have fewer features than professional ones. Auto level is a feature to reduce human intervention and keep printing quality. Auto level eliminates problem of manual calibration to get bed surface and extruder motion in parallel planes. The solution is enough compensation to tell that printing process can adapt to uneven bed. Research using switch as height sensor tells that proper configuration auto level promises printing quality in most cases with slight slope of bed surface.

Keywords— 3D printer, compensation, auto level, extruder, heated bed.

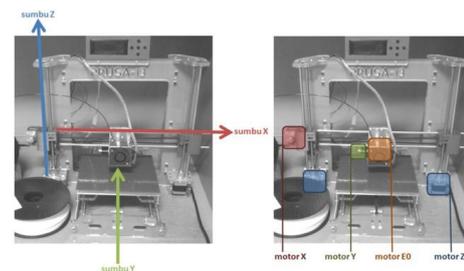
Abstrak— Printer tiga dimensi yang beredar di seluruh dunia memiliki banyak jenis. Printer yang ditujukan untuk individu atau rumahan memiliki fitur yang lebih sedikit daripada printer profesional. Salah satu fitur yang dibutuhkan untuk mengurangi campur tangan manusia sekaligus menjaga kualitas cetak adalah *auto level*. *Auto level* menjawab masalah kalibrasi manual kesejajaran nampan dan *extruder* dengan kompensasi yang cukup agar proses cetak dapat beradaptasi pada nampan yang miring. Penelitian yang spesifik menggunakan saklar sebagai sensor ketinggian nampan menghasilkan gambaran bahwa *auto level* dengan konfigurasi yang tepat dapat menjanjikan kualitas cetak pada kasus umum, yaitu kemiringan yang landai.

Kata Kunci— printer tiga dimensi; kompensasi, auto level, extruder, nampan.

I. PENDAHULUAN

Printer tiga dimensi adalah alat untuk membuat suatu barang secara kustom. Printer ini dikembangkan secara terbuka oleh para kontributornya di seluruh dunia. Tidak mengherankan bila jumlah versinya sangat banyak. Dari sekian banyak versi, Prusa i3 adalah salah satu jenis yang paling populer digunakan di seluruh dunia.

Perakitan printer dipandu dengan sebuah manual. Sebagai pengamatan selama perakitan, semua lintasan memiliki posisi yang tetap. Gambar 1 menunjukkan arah lintasan dan posisi motor pada Prusa i3. Lintasan sumbu X mudah untuk dipastikan tegak lurus karena motornya hanya satu. Selain itu pemasangan *linear bearing* dan as begitu pas sehingga bila terjadi rotasi, pengaruhnya tidak akan kentara. Lintasan sumbu Y juga terpasang begitu pas. Lain halnya dengan lintasan sumbu Z, terdapat dua motor yang menjadi penggerak. Lintasannya berada di dua sisi untuk menopang lintasan



Gambar 1. Arah lintasan dan lokasi motor pada printer tiga dimensi.

sumbu X. Jadi, bila satu sisi lebih rendah dari sisi lain, lintasan sumbu X tidak akan sejajar dengan permukaan nampan. Hasilnya, pencetakan dipastikan gagal ketika filamen cair tidak menyentuh permukaan nampan pada lapisan pertama.

Selain masalah perakitan, pemindahan printer ke lokasi lain juga dapat mengakibatkan pergeseran-pergeseran yang tidak diinginkan. Hal yang kemudian dikalibrasi biasanya adalah permukaan nampan terhadap lintasan sumbu X dengan cara memutar *fine adjuster* pada keempat ujung nampan. Baru kemudian memutar *fine adjuster* pada *endstop Z*. *Fine adjuster* berupa baut dan pegas. *Fine adjuster* ini punya keterbatasan: Jarak maksimum adalah 3 mm untuk keempat ujung nampan dan 5 mm untuk *endstop Z*.

Kalibrasi yang dilakukan secara otomatis membutuhkan empat motor bagi ujung-ujung nampan dan *driver* terpisah bagi kedua motor sumbu Z. Motor pada ujung nampan berguna untuk memutar *fine adjuster* dan kendali motor sumbu Z yang terpisah berguna untuk menyejajarkan sisi kiri dan kanan. Oleh karena kebutuhan perangkat keras dan kerumitan yang tinggi, kalibrasi otomatis tidak menjadi pilihan. Demi efisiensi, diperlukan sebuah upaya sebagai kompensasi terhadap ketidaksejajaran yang terjadi di lapangan, yaitu *auto level*. Hasil dari *auto level* tidak dialami sebelum pencetakan layaknya kalibrasi, tapi berjalan seiring dengan pencetakan. Lintasan sumbu X dibiarkan tidak sejajar terhadap permukaan nampan.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Pencetakan Tiga Dimensi

Proses yang dilalui dari sebuah desain menjadi objek fisik terdiri dari lima tahap: desain tiga dimensi, berkas StereoLithography (STL), *G-code*, *firmware*, dan cetak. Gambar 2 menunjukkan kelima tahap tersebut. Desain dapat

dibuat menggunakan berbagai macam aplikasi komputer yang sesuai. Desain kemudian diekspor menjadi berkas STL. Berkas STL memuat data-data desain yang dikhususkan untuk keperluan pencetakan, seperti identifikasi sisi permukaan objek. Berkas kemudian diterjemahkan menjadi *G-code*. *G-code* adalah kumpulan instruksi yang dapat dimengerti oleh mesin pencetak. Instruksi-instruksi tersebut dikirimkan ke *firmware* mesin untuk dibaca satu per satu. Mesin melaksanakan setiap perintah dengan menggerakkan aktuator-aktuatornya, melakukan pemanasan pada bagian tertentu, atau tindakan lain sesuai dengan jenis mesin.

Konsep teknologi FFF (*fused filament fabrication*) adalah membuat objek dari filamen plastik yang dipanaskan lalu dikeluarkan melalui *nozzle*. Seiring filamen dikeluarkan, *nozzle* dan/atau nampan digerakkan sesuai trayek dari *G-code*.

Printer tiga dimensi terdiri dari bagian elektronik, mekanik, dan *extruder*. Bagian elektronik berfungsi sebagai pengendali mekanisme, penyalur daya, dan penampung *firmware*. Bagian mekanik berfungsi sebagai alat gerak pasif untuk menggerakkan nampan dan *extruder*. Bagian *extruder* berfungsi sebagai pemanas filamen, pembuang panas, dan untuk mencetak filamen panas.

B. Board dan Firmware Printer Tiga Dimensi

Board adalah perangkat keras yang menjadi otak printer tiga dimensi, sedangkan *firmware* adalah perangkat lunak di dalam *board*. Karena dikembangkan oleh kontributor di seluruh dunia, *board* dan *firmware* yang beredar banyak jumlahnya. **ReprRap** mencatat sekurang-kurangnya terdapat 22 *board* dan 12 *firmware* dengan berbagai kelebihan dan kekurangannya masing-masing [6].

Agar sebuah printer tiga dimensi dapat menjalankan fitur tertentu, kedua elemen ini harus saling kompatibel dan mendukung fitur tersebut selain kebutuhan akan perangkat tambahan bagi fitur tersebut. Seorang kontributor dapat memodifikasi *firmware* yang *open source* agar mendukung *board* tertentu dan dapat mengimplementasi fitur yang diinginkan atau meningkatkan daya guna dari fitur yang sudah ada.

C. Deteksi Kemiringan

Auto level diaplikasikan agar printer mengetahui kemiringan nampan hanya dengan menekan pada beberapa titik di permukaannya. Dengan terus memantau perubahan jarak yang terjadi, angka-angka koordinat titik akan didapat setelah dipicu oleh sensor.

1) *Vektor Normal Bidang Datar*: Tiga titik yang berada pada sebuah bidang datar dan tidak membentuk satu garis lurus dapat digunakan untuk mencari vektor normal bidang datar tersebut [4].



Gambar 2. Lima tahap pencetakan tiga dimensi.

$$P = (x_P, y_P, z_P)$$

$$Q = (x_Q, y_Q, z_Q)$$

$$R = (x_R, y_R, z_R)$$

$$\vec{PQ} = (x_Q - x_P, y_Q - y_P, z_Q - z_P)$$

$$\vec{PR} = (x_R - x_P, y_R - y_P, z_R - z_P)$$

Cross product dari kedua vektor tegak lurus terhadap kedua vektor juga terhadap bidang datar. Karena sifatnya tersebut, hasil operasi *cross product* pada Persamaan 1 merupakan vektor normal.

$$\vec{n} = \vec{PQ} \times \vec{PR} = a\vec{i} + b\vec{j} + c\vec{k} \quad (1)$$

2) *Matriks Rotasi*: Perubahan kemiringan nampan dapat didefinisikan sebagai rotasi sumbu-sumbu Cartesian terhadap keadaannya semula [2]. Titik-titik pergerakan *extruder* dalam *G-code* dirotasikan terhadap sumbu-sumbu Cartesian yang baru. Dalam hitungan, sumbu-sumbu dituliskan sebagai vektor dan matriks rotasi adalah susunan semua vektor tersebut.

Dalam kondisi nampan datar, vektor normalnya sejajar dengan sumbu Z. Luas permukaan nampan ditelusuri oleh kedua sumbu lain, yaitu X dan Y. Ketika nampan dimiringkan, vektor normalnya berotasi dan menimbulkan sudut terhadap sumbu Z. Luas nampan yang miring tersebut ditelusuri oleh 2 vektor baru yang saling tegak lurus dan tegak lurus juga terhadap vektor normal.

Matriks rotasi dibuat dari vektor normal yang telah didapat dari pembahasan sebelumnya. Matriks rotasi dibagi menjadi tiga baris yang disebut vektor *xrow*, *yrow*, dan *zrow*. Vektor *zrow* adalah vektor normal satuan.

Vektor *xrow* mengacu pada gerakan *extruder* yang konsisten pada sumbu X sehingga tidak memiliki elemen pada sumbu Y. Vektor *xrow* tegak lurus terhadap proyeksi vektor *zrow* pada bidang datar. Vektor *yrow* didapat dengan perkalian silang antara *zrow* dan *xrow*.

Matriks rotasi dikalikan dengan koordinat lama untuk membentuk koordinat baru. Apabila koordinat lama memiliki nilai $[a, b, c]$, operasi hitung ditunjukkan oleh Persamaan 2.

$$zrow = [z_1, z_2, z_3] ; |zrow| = 1$$

$$xrow = [x_1, 0, x_3] = \text{normalisasi } [z_3, 0, -z_1]$$

$$yrow = [y_1, y_2, y_3] = \text{normalisasi } (zrow \times xrow)$$

$$\text{matriks rotasi} = \begin{bmatrix} x_1 & 0 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{bmatrix}$$

$$[a' \ b' \ c'] = [a \ b \ c] \begin{bmatrix} x_1 & 0 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

III. ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM

A. Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan bergantung pada semua pihak yang berkaitan. Karena printer digunakan untuk penelitian, maka kebutuhan pemilik dan penelitian harus dipertimbangkan. Kebutuhan diuraikan menjadi:

- *Board* Melzi yang sudah ada tidak dapat dimodifikasi untuk mencegah kerusakan permanen. *Board* alternatif

Kompensasi Kemiringan Nampan Printer Tiga Dimensi Menggunakan *Auto Level Switch*

digunakan sebagai pengganti. *Board* alternatif ini perlu memiliki antarmuka yang menyerupai Melzi supaya tidak mengubah ujung kabel aktuatur-aktuatur dan sensor-sensor.

- Fitur yang sudah ada namun tidak memengaruhi penelitian tidak perlu diimplementasi. Fitur yang dimaksud adalah *LCD support*.
- Penggunaan komponen elektronik yang sederhana sudah memenuhi kebutuhan *auto level* pada printer skala rumah.

B. Desain Sistem

1) *RAMPS (RepRap Arduino Mega Pololu Shield)*: RAMPS adalah salah satu *board* populer yang digunakan sebagai otak printer tiga dimensi. Dalam lingkup printer tiga dimensi, penyebutan RAMPS sudah termasuk dengan Arduino Mega dan *driver* Pololu. Arduino Mega sebagai *mainboard* lengkap dengan prosesor dan memori serta I/O, RAMPS sebagai *extender board*, dan *driver* sebagai pengendali *stepper motor*. Ketiganya dianggap sebagai satu kesatuan.

Gambar 3 menunjukkan peta pin-pin pada RAMPS. Daya bagi Arduino berasal dari dua pilihan: *port* pada Arduino (USB atau *barrel jack*) atau *port* pada RAMPS (terminal sekrup, berbagi daya dengan komponen lain pada RAMPS). *Jumper* daya dipasang untuk konfigurasi yang kedua.

RAMPS memberikan pilihan batas maksimum *microstep* bagi *stepper motor* yang digunakan. Nilai maksimum diindikasikan dengan nilai pecahan paling kecil. Bila konfigurasi *jumper* menunjukkan nilai yang lebih tinggi dari kemampuan *driver*, nilai yang diimplementasi oleh RAMPS adalah nilai kemampuan *driver*. Tidak masalah jika semua *jumper* terpasang. *Driver* Pololu A4988 yang digunakan mendukung nilai *microstep* sampai 1/16.

2) *Adapter*: *Board adapter* digunakan sebagai jembatan antara printer tiga dimensi (aktuatur-aktuatur dan sensor-sensornya) dengan RAMPS. Gambar 4 menampilkan perbandingan antarmuka Melzi dengan *adapter*. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, tata letak antarmuka *adapter* perlu

didesain menyerupai Melzi. Daya yang dibutuhkan oleh RAMPS disalurkan langsung melalui *port* yang tersedia pada *board* RAMPS. *Port heated bed*, *hotend*, dan kipas juga disediakan langsung oleh RAMPS dalam rupa terminal sekrup.

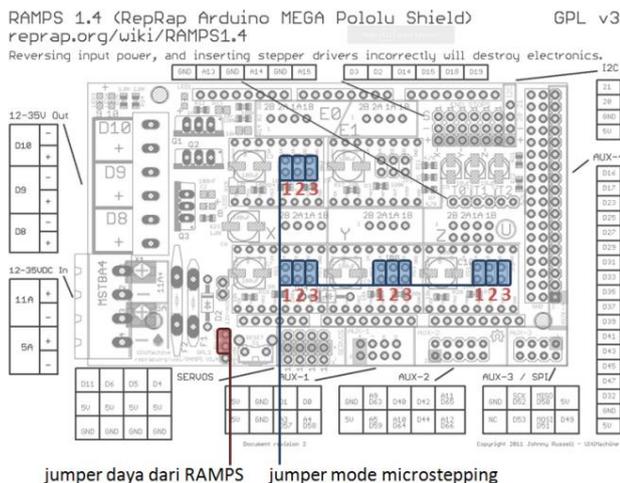
3) *Servo TowerPro SG90*: Servo adalah jenis motor DC yang dilengkapi dengan sistem kendali closed loop sehingga memungkinkan penggunaan yang membutuhkan kendali atas posisi dan kecepatan sudut. Pada TowerPro SG90, posisi sudut ditentukan oleh duty cycle, contohnya 5%, 7.5%, dan 10% untuk -90, 0, dan 90 derajat secara berurutan. Periode siklus adalah 20 ms. Kecepatan sudut dikendalikan oleh kecepatan perubahan duty cycle.

Servo harus dipasang pada *extruder* agar dapat mengakses tiga buah titik pada nampan. Posisi terendah dari *servo* tidak boleh lebih rendah dari *nozzle* namun memungkinkan saklar menggapai nampan saat *auto level* dijalankan.

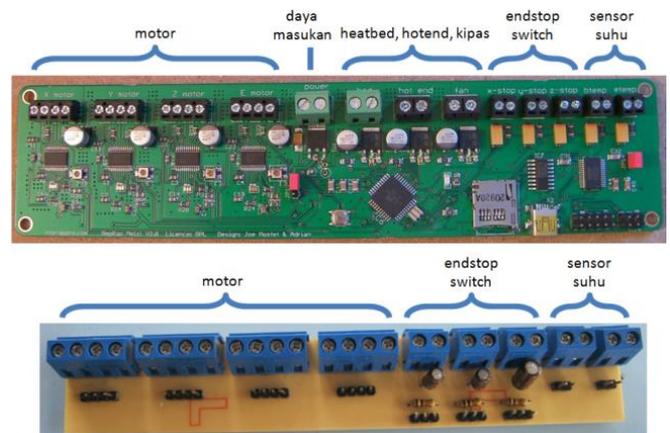
Lengan *servo* diposisikan sejajar dengan panjang *servo* pada posisi sudut 0 derajat dalam kondisi saklar tidak aktif. Posisi sudut saat saklar aktif perlu disesuaikan untuk meminimalisir kesalahan mekanis, yaitu adanya selisih antara titik sentuh saklar yang sebenarnya dan yang tertera.

4) *Limit Switch*: *Limit switch* atau saklar jenis SPDT (*single pole, double throw*) memiliki tiga pin. Pin pertama dan kedua memiliki kondisi NO (*normally open*). Pin pertama dan ketiga memiliki kondisi NC (*normally closed*). Pin kedua dan ketiga tidak memiliki hubungan. NC adalah kebalikan dari NO. Pemilihan kondisi manapun tidak menimbulkan masalah asalkan disesuaikan dengan konfigurasi *firmware*. Sebagai contoh, *endstop* diatur menjadi *false* ketika menggunakan NC dan *true* ketika menggunakan NO.

5) *Arsitektur Sistem*: Semua komponen yang disebutkan di atas disusun sesuai dengan arsitektur seperti pada Gambar 5. Adapter dan RAMPS menggantikan Melzi. Penghubung antara adapter dan printer (motor, limit switch, heater, kipas, dan thermistor) menggunakan kabel yang sudah ada sebelumnya. Penambahan kabel dibutuhkan untuk menghubungkan RAMPS dan adapter sesuai dengan besar arus yang dialirkan. Selain itu, kabel yang melengkapi servo perlu dipanjangkan agar dapat bergerak bebas. Alternatif implementasi *auto level*.



Gambar 3. Peta pin RAMPS [9].



Gambar 4. Antarmuka Melzi [7] (atas) dan adapter (bawah).

Terdapat beberapa cara lain untuk mengimplementasi *auto level* pada sebuah printer tiga dimensi, salah satunya menggunakan sensor *gyro*.

Sensor *gyro* yang beredar di pasaran saat ini banyak yang dilengkapi dengan sensor *accelerometer* dan bahkan sensor suhu serta kompas. Banyaknya dimensi yang dapat diukur oleh sensor *gyro* disebut derajat kebebasan atau DOF (*degree of freedom*). Sebagai contoh, 6 DOF memiliki arti 3 sumbu sensor *gyro* dan 3 sumbu sensor *accelerometer* [8]. Sensor *gyro* mengukur rotasi terhadap tiga sumbu dalam ruang sedangkan sensor *accelerometer* mengukur perpindahan sepanjang tiga sumbu dalam ruang.

Apabila diimplementasikan untuk *auto level*, sensor *gyro* mampu mengukur perubahan orientasi secara *real-time* dan lebih akurat daripada saklar. Akurasi yang lebih tinggi bergantung pada spesifikasi sensor dan ketiadaan kesalahan mekanis. Kelemahannya adalah sensor *gyro* membutuhkan penempatan yang kokoh pada printer. Printer juga harus tetap diam terhadap bumi. Getaran atau guncangan dapat menimbulkan *noise* pada pembacaan sensor.

IV. IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

A. Perakitan Perangkat Keras

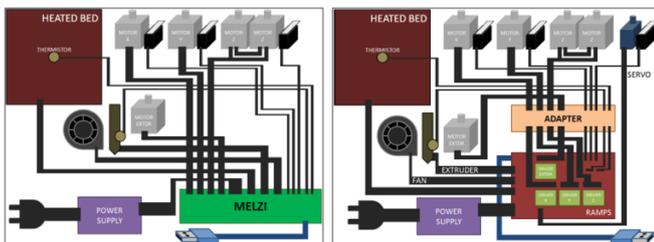
Board Melzi dilepaskan dari printer untuk digantikan. Untuk memudahkan identifikasi kabel-kabel yang dipisahkan dari Melzi, kabel-kabel dipindahkan sesuai kelompoknya ke *adapter* dan RAMPS. Setelah terpisah seluruhnya, Melzi disimpan. RAMPS dan *adapter* saling terhubung dengan kabel *jumper*, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6.

Agen perangkat keras yang berfungsi sebagai penangkap data koordinat titik pada *auto level* adalah sebuah saklar yang dipasang pada *servo* seperti ditunjukkan oleh Gambar 7. *Servo* diletakkan pada bagian bawah motor *extruder*, sedikit lebih tinggi dari keberadaan *nozzle*. Posisi saklar ketika aktif berada lebih rendah daripada *nozzle*.

Kabel *servo* dipasang pada RAMPS di port pertama dari empat port *servo*. Posisinya paling dekat dengan tombol reset. Limit switch pada *servo* bertugas menggantikan limit switch sumbu Z sehingga kabelnya dipasang di port endstop Z pada *adapter*.

B. Konfigurasi Firmware

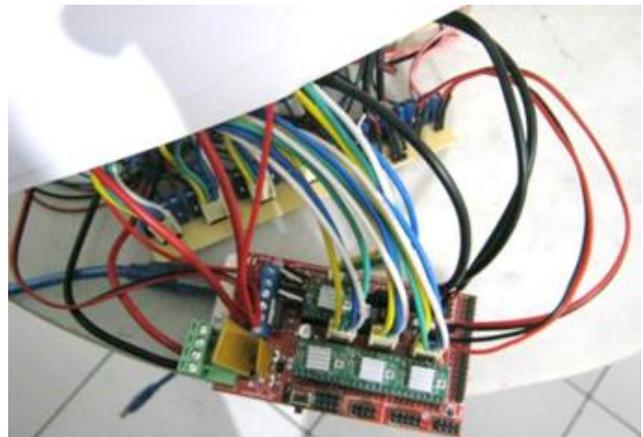
Firmware Marlin bersifat *open source* dan telah mendukung *auto level*. Pekerjaan yang perlu dilakukan adalah konfigurasi agar printer berjalan dengan semestinya dan membuat *enable* fitur *auto level*.



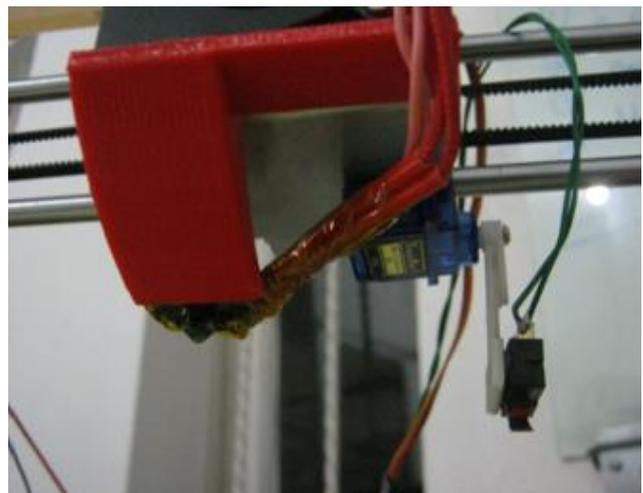
Gambar 5. Arsitektur sistem lama (kiri) dan baru (kanan).

1) *Konfigurasi Dasar*: Tabel 1 menunjukkan konfigurasi dasar yang dilakukan dalam kode *Configuration.h*. *Baudrate* diselaraskan antara *firmware* dengan aplikasi *host* pada komputer, misalnya 115200. Tipe *motherboard* yang digunakan adalah RAMPS versi 1.4. Arah *extruder* dan nampan yang terbalik diatasi dengan menukar nilai *invert direction*. *Homing* adalah gerak menuju *endstop* masing-masing sampai *logic* bernilai terbalik karena tekanan. Karena *endstop* sumbu X terletak di luar wilayah cetak sejauh sekitar 5 cm, maka X_MIN_POS diberi nilai -50. Skala *step* per milimeter dicari dari nilai yang sudah ada dan jarak tempuh yang terukur.

2) *Konfigurasi Probe Switch*: Lengan *probe* diaktifkan pada sudut tertentu sehingga saklar tepat menekan nampan pada sebuah titik. Untuk menemukan sudut yang pas, aktivasi dilakukan dengan mengirimkan instruksi M280 ke printer [5]. M280 adalah instruksi *G-code* untuk merotasi lengan *servo*. M280 P0 S75 artinya *servo* yang terhubung pada port 0 bergerak menuju sudut 75 derajat. Selain besar sudut, jarak *probe* dari *nozzle* juga dibutuhkan dalam penghitungan *auto level*. Setelah nilai sudut didapatkan, lengan *probe* diaktifkan dan ditempatkan menyentuh nampan. Tempat sentuhan diberi tanda dan diambil titik tengahnya.



Gambar 6 Adapter dan RAMPS saling terhubung.



Gambar 7 Posisi servo dan saklar pada extruder.

TABEL I
KONFIGURASI MARLIN

Baris	Kode	Keterangan
100	#define BAUDRATE 115200	
108	#define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB	
185	#define TEMP_SENSOR_0 3	Mendel thermistor
189	#define TEMP_SENSOR_BED 3	Mendel thermistor
365	Const bool X_MIN_ENDSTOP_INVERTING = true	Bergantung pada konfigurasi switch pada <i>endstop</i> NO atau NC
366	Const bool Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING = true	
367	Const bool Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING = false	
447	#define INVERT_Y_DIR false	Homing ke arah <i>endstop</i> berada
448	#define INVERT_Z_DIR true	
453	#define INVERT_E0_DIR false	Direct drive extruder
475	#define X_MIN_POS -50	Posisi homing 50 milimeter di luar area cetak.
478	#define X_MAX_POS 200	
662	#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {100,100,2500,100}	Skala steps/milimeter {x,y,z,e}.
663	#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE {300,300,2,25}	Kecepatan mm/detik.

Selanjutnya, dari posisi *nozzle* terakhir, *extruder* digeser secara perlahan menuju titik tengah sentuhan. Dalam prosesnya, lengan *probe* dinonaktifkan terlebih dulu dengan perintah M280 P0 S0 agar tidak patah. Selisih nilai posisi dalam koordinat X, Y, dan Z menjadi nilai *offset probe* dari *extruder*. Hasil yang didapat adalah 63 mm, 4 mm, dan -14,4 mm. Jarak Z selalu negatif karena posisi *probe* lebih rendah dari *nozzle*.

C. Persiapan Cetak

Pengujian dilakukan dengan mencetak dan mengukur hasil cetak sebuah desain pada dua permukaan berbeda kemiringan. Desain berbentuk pipa lingkaran dengan diameter luar 50 milimeter, diameter dalam 44 milimeter, dan tinggi 40 milimeter.

Permukaan pertama merupakan papan aluminium bawaan printer setebal 4 mm. Permukaan kedua merupakan papan kaca setebal 5 mm yang ditumpangkan di atas permukaan papan aluminium dengan ganjalan di salah satu sisi. Kedua permukaan dilapisi dengan *masking tape* agar filamen lebih melekat saat dicetak. Panjang sisi papan kaca adalah 20 cm dan tinggi ganjalan adalah 12,3 mm. Dari panjang sisi dan tinggi, gradien dan sudut kemiringan dapat dihitung. Gradien dan sudut kemiringan permukaan kedua adalah 0,0615 dan 3,5 derajat terhadap permukaan pertama pada arah lintasan X positif. Ketinggian tetap terhadap lintasan Y.

Filamen PLA yang lunak akan lebih mudah melekat pada

nampan. Karena papan kaca ditumpangkan di atas aluminium, suhunya sedikit lebih dingin dari papan aluminium. Supaya suhu papan kaca mencapai rentang suhu lunak filamen PLA, suhu pemanas di bawah papan aluminium perlu ditingkatkan hingga kisaran 80 derajat Celsius.

Pada akhir proses *auto level*, printer mengirimkan informasi matriks koreksi. Nilai matriks koreksi saat cetak pertama mendekati matriks identitas sehingga nampan dapat dianggap datar. Batas yang ditentukan adalah nilai di bawah 1% dianggap nol. Tabel II menampilkan ikhtisar pengaturan pada cetakan pertama dan kedua.

D. Pengukuran Hasil Cetak

Alat ukur yang digunakan untuk mengukur dimensi objek hasil cetak adalah jangka sorong dengan ketelitian mencapai 0,02 mm. Selain jangka sorong, lembaran *millimeter block* digunakan untuk membantu menampilkan jejak hasil cetak.

Pada bagian dasar hasil cetak terdapat pemuaihan yang disebabkan oleh *heated bed*. Pemuaihan terukur sebesar 0,5 mm. Hasil cetak pada kaca dapat mengalami pergeseran pada beberapa lapisan karena masalah penguncian di atas aluminium. Wujud hasil cetak ditampilkan oleh Gambar 8.

Penelusuran jejak pada *millimeter block* menunjukkan bahwa bagian dasar dan atas hasil cetak berbentuk mendekati lingkaran. Bentuk yang sebenarnya adalah segi banyak karena desain diterjemahkan ke dalam *G-code* menjadi kumpulan trayek-trayek lurus.

Berdasarkan pengukuran menggunakan jangka sorong, persentase kesalahan diameter luar dan diameter dalam berada di bawah 2%. Persentase kesalahan tebal mencapai 6%. Persentase kesalahan tinggi di bawah 3%. Ukuran-ukuran yang terbaca ditunjukkan oleh Tabel III. Untuk kebutuhan cetak dengan ketelitian rendah, implementasi *auto level switch* telah memenuhi kebutuhan.

Ukuran hasil yang dicetak berbeda dengan ukuran desain. Perbedaan ukuran dialami dalam kondisi normal dan dalam implementasi *auto level*. Hal ini dapat disebabkan oleh konfigurasi yang tidak tepat sebelum pencetakan, variasi pengeluaran filamen cair selama pencetakan, dan pemuaihan hasil cetak yang tidak merata.

Nilai *offset*, terutama elemen sumbu Z, menjadi penting karena *nozzle* harus berada cukup dekat dengan nampan saat mencetak lapisan pertama. Ukuran praktis adalah setebal kertas tipis atau sebesar 0,2 milimeter. *Nozzle* tidak boleh menggores atau terlalu jauh dari nampan. Kegagalan cetak dapat terjadi karena kesalahan ini.

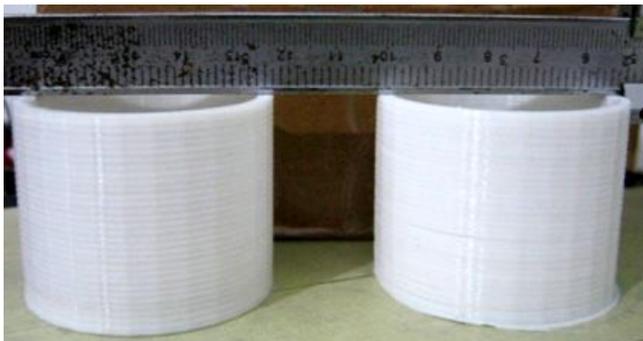
Selain karena kesalahan dasar yang menyebabkan dimensi kedua hasil cetak berbeda dari dimensi desain, perangkat keras yang digunakan sebagai *probe* dapat memiliki kesalahan mekanis. Kesalahan mekanis *auto level* berkontribusi dalam kesalahan pembacaan koordinat. Kesalahan mekanis terletak pada *limit switch*, lengan *probe*, dan penempatan *servo*. Lempeng besi pada *limit switch* membiaskan titik sentuh, terutama pada nampan yang miring. Lengan *probe* yang tipis dapat sedikit melengkung dengan mudah ketika saklar tertekan. Penempatan *servo* yang tidak kokoh membiaskan ketinggian.

TABEL II
PENGATURAN PARAMETER CETAK

Aspek	Cetak Pertama			Cetak Kedua		
	<i>Set-up</i>					
tinggi lapisan cetak	0,2 mm			0,2 mm		
kerapatan cetak	20%			20%		
suhu nampan	60° C			80° C		
	<i>Nampan</i>					
gradien teoretis	0			0,0615		
sudut kemiringan	0°			3,5°		
matriks koreksi	+0,999961	+0,000000	-0,008838	+0,997612	+0,000000	+0,069071
	+0,000038	+0,999991	+0,004287	-0,000354	+0,999987	+0,005118
	+0,008838	-0,004287	+0,999952	-0,069070	-0,005130	+0,997599

TABEL III
HASIL PENGUKURAN MENGGUNAKAN JANGKA SORONG

Aspek	Dimensi Desain (mm)	Hasil cetak pada permukaan datar		Hasil cetak pada permukaan miring	
		Dimensi (mm)	Kesalahan (%)	Dimensi (mm)	Kesalahan (%)
diameter luar	50	49,7	0,6	49,76	0,48
diameter dalam	44	43,6	0,91	43,5	1,14
tebal	3	3,18	6	3,18	6
tinggi	40	38,9	2,75	39,2	2



Gambar 8. Hasil cetak permukaan datar (kiri) dan miring (kanan).

Alhasil, *auto level switch* sebagai metode kompensasi kemiringan nampan cukup mampu memenuhi kebutuhan dasar printer yang diuji agar pencetakan dapat berlangsung sampai selesai walaupun memiliki ketelitian yang rendah karena berbagai faktor yang telah disebutkan.

V. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa *auto level switch* dapat diterapkan pada printer jenis Prusa i3, menggunakan *board* RAMPS, *firmware* Marlin, serta *probe* yang tersusun dari *servo* dan *limit switch*. *Firmware* perlu dikonfigurasi terlebih dahulu agar printer bekerja dengan benar.

Tingkat kemiringan 3,5 derajat mampu diatasi oleh *auto level*. Nilai 3,5 derajat didapat dari panjang 20 cm dan tinggi salah satu sisi 12,3 mm. Nilai tinggi ini telah memenuhi kebutuhan pada printer tiga dimensi yang diuji karena jangkauan *fine adjuster* nampan hanya 3 mm.

Auto level dengan saklar seperti yang dilakukan memiliki beberapa kelebihan, yaitu pengaplikasian lebih sederhana daripada sensor lain dan tidak terpengaruh pada perubahan orientasi printer. Kekurangannya adalah mengandung kesalahan mekanis sehingga akurasi rendah dan tidak bisa mengukur secara *real-time*.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Catalin, Daniela, and Alin. "From CAD model to 3D print via STL file format". *Paper Fiabilitate si Durabilitate - Fiability & Durability*, 2010, pp 74-76.
- [2] Edwin J. Purcell and Dale Varberg. "Geometri dalam Ruang, Vektor" in *Kalkulus dan Geometri Analitis*, Edisi Kelima, Jilid 2. Rizal Hutauruk, Ed. Jakarta: Erlangga, 2010, pp. 192-198.
- [3] M. Weinberg, "3D Printing, Intellectual Property, and the Fight Over the Next Great Disruptive Technology", *Paper Public Knowledge*, November 2010.
- [4] P. Dawkins. (2007). *Calculus III*. [Online]. Available: <http://tutorial.math.lamar.edu/download.aspx> [May 22 2016].
- [5] "Automatic Bed Leveling." Internet: <http://www.marlinfw.org/articles/howto/bed-auto-leveling.html>, [May 22, 2016].
- [6] "List of Firmware." Internet: <http://reprap.org/wiki/Firmware>, [May 22, 2016].
- [7] "Melzi." Internet: <http://reprap.org/wiki/Melzi>, [May 22, 2016].
- [8] "MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4." Internet: https://store.invensense.com/datasheets/invensense/MPU-6050_DataSheet_V3_4.pdf, Sep. 28, 2013 [May 22, 2016].

Kompensasi Kemiringan Nampan Printer Tiga Dimensi Menggunakan *Auto Level Switch*

[9] "RAMPS 1.4." Internet: http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4, [May 22, 2016].

Zakarias Januaji, Lahir di Bandung, pada tanggal 1 Januari 1993. Tahun 2011 menempuh pendidikan S1 di Institut Teknologi Harapan Bangsa (ITHB), Prodi Teknologi Informasi jurusan Teknik Elektro. Dan lulus pada bulan Juli 2016 dengan gelar Sarjana Teknik. Bidang yang diminati adalah *3D printing*.

Tunggul Arief Nugroho, kelahiran Solo tahun 1967. Gelar Sarjana Teknik bidang Teknik Elektro diperoleh di ITB pada Oktober 1991

dan Magister Teknik bidang yang sama dengan subbidang Sistem Informasi Telekomunikasi pada Oktober 2001. Minat penelitian pada teknologi *wireless communication* dan aplikasi jaringan sensor nirkabel. Saat ini aktif sebagai staf pengajar di Teknik Elektro ITHB.

Maclaurin Hutagalung, menerima gelar Sarjana Teknik dari Institut Teknologi Bandung jurusan Teknik Elektro, gelar Magister Sains dari University of Twente Belanda di bidang Sinyal, Sistem, dan Kendali, dan gelar Doktor dari Tokyo Institute of Technology di bidang Sistem Kendali Nonlinear. Sejak tahun 2012 aktif sebagai pengajar di Departemen Sistem Komputer ITHB di Bandung. Minat penelitian pada Kendali Sistem Dinamis, Robotika, dan Penerbangan.

Halaman kosong