

RANCANG BANGUN FILAMENT EXTRUDER MACHINE DENGAN PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK JENIS LOW DENSITY POLYETHYLENE SEBAGAI BAHAN BAKU 3D PRINTER

Dodi Iskandar¹⁾, Aditya Sumardi Sunarya²⁾, Gamawan Ananto³⁾
Teknik Mesin dan Manufaktur, Konsentrasi Teknik Elektromekanik
Politeknik Manufaktur Bandung
Jl. Kanayakan No.21, Bandung – 40135
INDONESIA
E-mail: dodiskandardinata@gmail.com,

Abstrak

Sampah atau *waste* (Inggris) memiliki banyak pengertian dalam batasan ilmu pengetahuan. Namun pada prinsipnya, sampah adalah suatu bahan yang terbuang atau dibuang dari sumber hasil aktivitas manusia maupun alam yang belum memiliki nilai ekonomis. Sampah bahan plastik *Low Density Polyethylene* merupakan salah satu sampah yang dapat didaur ulang dengan dibuatnya *plastic filament extruder*. Hasil dari *filament extruder* yaitu sebuah *filament* yang dijadikan sebagai bahan baku 3D Printer.

Pada penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan hasilnya sudah berfungsi dengan baik dan sudah menghasilkan *filament* namun terdapat kekurangan yaitu belum stabilnya diameter yang dihasilkan dikarenakan tidak adanya pengontrolan kecepatan pada *filament puller*. Sehingga untuk mengatasi masalah tersebut, pada penelitian ini ditambahkan pengontrolan *filament puller*. Untuk proses pada sistem ini, *filament* yang keluar dari *extruder* didinginkan dengan kipas, kemudian dilakukan pengukuran dengan menggunakan *digital caliper*. Selanjutnya *filament* ditarik oleh motor *puller* yang berfungsi untuk menstabilkan diameter dengan pengontrolan kecepatan dari hasil pembacaan *digital caliper*. Setelah itu *filament* masuk ke bak air untuk proses pendinginan yang kemudian *filament* digulung. Pada proses penggulangan motor diatur kecepatannya dengan menggunakan tuas sebagai pengontrol kecepatan. *Slider* digunakan untuk mengarahkan *filament* pada saat proses penggulangan.

Untuk mengecek keakuratan pembacaan sensor digunakan perbandingan dengan nilai yang dibaca oleh sensor *thermocouple* dan nilai yang dibaca oleh *digital thermometer*. Sehingga hasil yang didapat sensor *thermocouple* yang mampu membaca temperatur tinggi dengan *error* sebesar 1.0 %. Pengendalian *On/Off* digunakan untuk mengendalikan temperatur. Sensor *digital caliper* digunakan untuk mengukur diameter *filament* yang dihasilkan dengan nilai *error* pembacaan sebesar 1.1 %. *Filament puller* pada sistem ini mampu menstabilkan hasil *extrusi* dengan rata-rata hasil *filament* berdiameter 1.7 mm.

Key Words : *additive manufacturing, LDPE, filament extruder, filament puller*

1. PENDAHULUAN

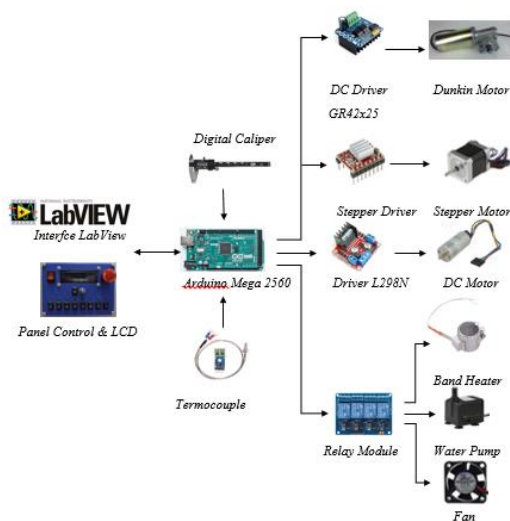
Sampah atau *waste* (Inggris) memiliki banyak pengertian dalam batasan ilmu pengetahuan. Namun pada prinsipnya, sampah adalah suatu bahan yang terbuang atau dibuang dari sumber hasil aktivitas manusia maupun alam yang belum memiliki nilai ekonomis. Bentuk sampah bisa berada dalam setiap fase materi, yaitu padat, cair, dan gas^[2]. Pengelolaan sampah di Indonesia masih merupakan permasalahan yang belum dapat ditangani dengan baik. Kegiatan pengurangan sampah baik di masyarakat sebagai penghasil sampah maupun di tingkat kawasan masih sekitar 5% sehingga sampah tersebut dibuang ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sementara lahan TPA tersebut masih terbatas. Komposisi sampah terbesar di TPA selain sampah

organik (70%) terdapat sampah anorganik yaitu sampah plastik (14%). Sampah plastik yang saat ini sebagian besar berupa bekas botol minuman yang lembek, kantong kresek dan plastik tipis lainnya yang termasuk dalam jenis plastik *Low Density Polyethylene (LDPE)*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menargetkan pengurangan sampah plastik dengan melakukan konsep 3R (*Reuse, Reduce, dan Recycle*)^[12].

Meninjau permasalahan tersebut, dengan banyaknya jumlah sampah jenis *Low Density Polyethylene* maka salah satu cara daur ulang sampah plastik ini adalah dengan *plastic filament extruder* dengan bahan baku sampah plastik jenis *Low Density Polyethylene*. Hal ini dapat dijadikan sebagai solusi pengolahan sampah plastik mengingat untuk saat ini kebutuhan filamen sebagai bahan baku pencetakan 3D cukup tinggi

dan filamen plastik yang digunakan diproduksi dan sebagian besar diimpor. Dengan dibuatnya *plastic filament extruder* untuk bahan baku pencetakan 3D maka dapat memenuhi kebutuhan bahan baku pencetakan 3D. Pada penelitian *plastic extrusion* sebelumnya telah digunakan *genetic algorithm* sebagai pengatur penentuan *membership function* dari *fuzzy logic* pada pengendalian temperatur pada proses ekstrusi dan telah menghasilkan hasil yang optimal^[3]. Selain itu terdapat penelitian yang menjabarkan mengenai ekstrusi plastik dengan menggunakan bahan baku sampah jenis *Low Density Polyethylene* namun belum menghasilkan hasil yang optimal^[10]. Tidak terdapatnya pengendalian pada motor pendorong *screw* menjadi salah satu faktor yang menyebabkan hasil dari ekstrusi plastik belum optimal.

2. PERANCANGAN SISTEM

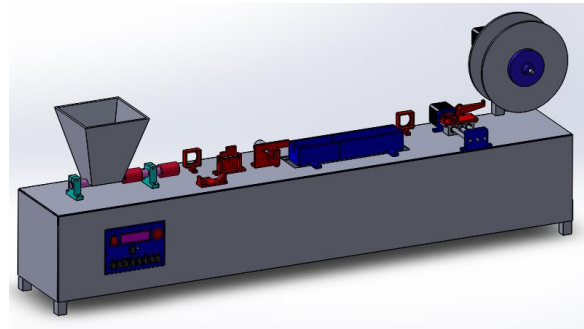


Gambar 2. 1Gambaran Umum Sistem

Gambar 2.1 merupakan gambaran umum sistem pada mesin ini. Terdapat dua jenis pengontrolan, dua jenis sensor yaitu sensor temperatur dan sensor *digital caliper*, serta terdapat delapan jenis *output*. Selanjutnya dijelaskan bahwa sistem menggunakan *LabVIEW* dan *LCD* sebagai *interface*. Perangkat lunak yang digunakan adalah *LabVIEW*. *User interface* ini digunakan untuk mengatur parameter-parameter pengendali serta menampilkan respon dari sistem. *Arduino Mega 2560* digunakan sebagai pengendali utama dan *Arduino Nano* sebagai *slave*. Pengendali utama akan mengendalikan kecepatan motor melalui *driver* motor serta suhu dari elemen pemanas. Motor yang digunakan adalah motor *DC* dan motor *Stepper*. Motor *DC* digunakan sebagai *puller filament* dengan kecepatan diatur dari pembacaan jangka sorong. Jangka sorong digunakan sebagai sensor diameter *filament* yang dihasilkan dari proses ekstrusi. *Thermocouple* digunakan sebagai sensor suhu dari elemen pemanas. Data pada

pengendali utama dapat ditampilkan pada sebuah layar *LCD* dan juga pada *interface LabVIEW*.

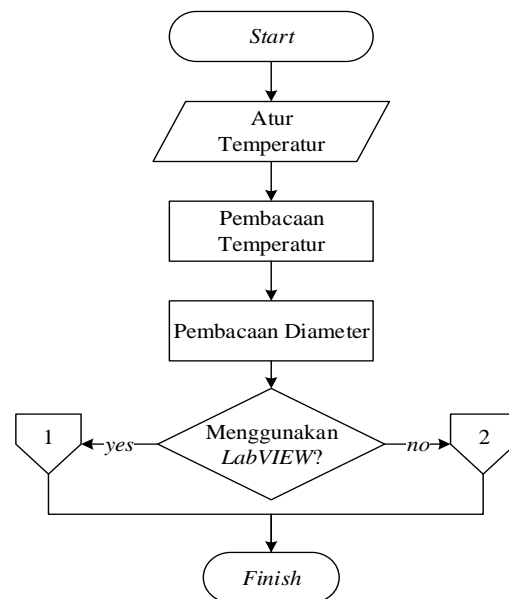
2.1 Perancangan Mekanik

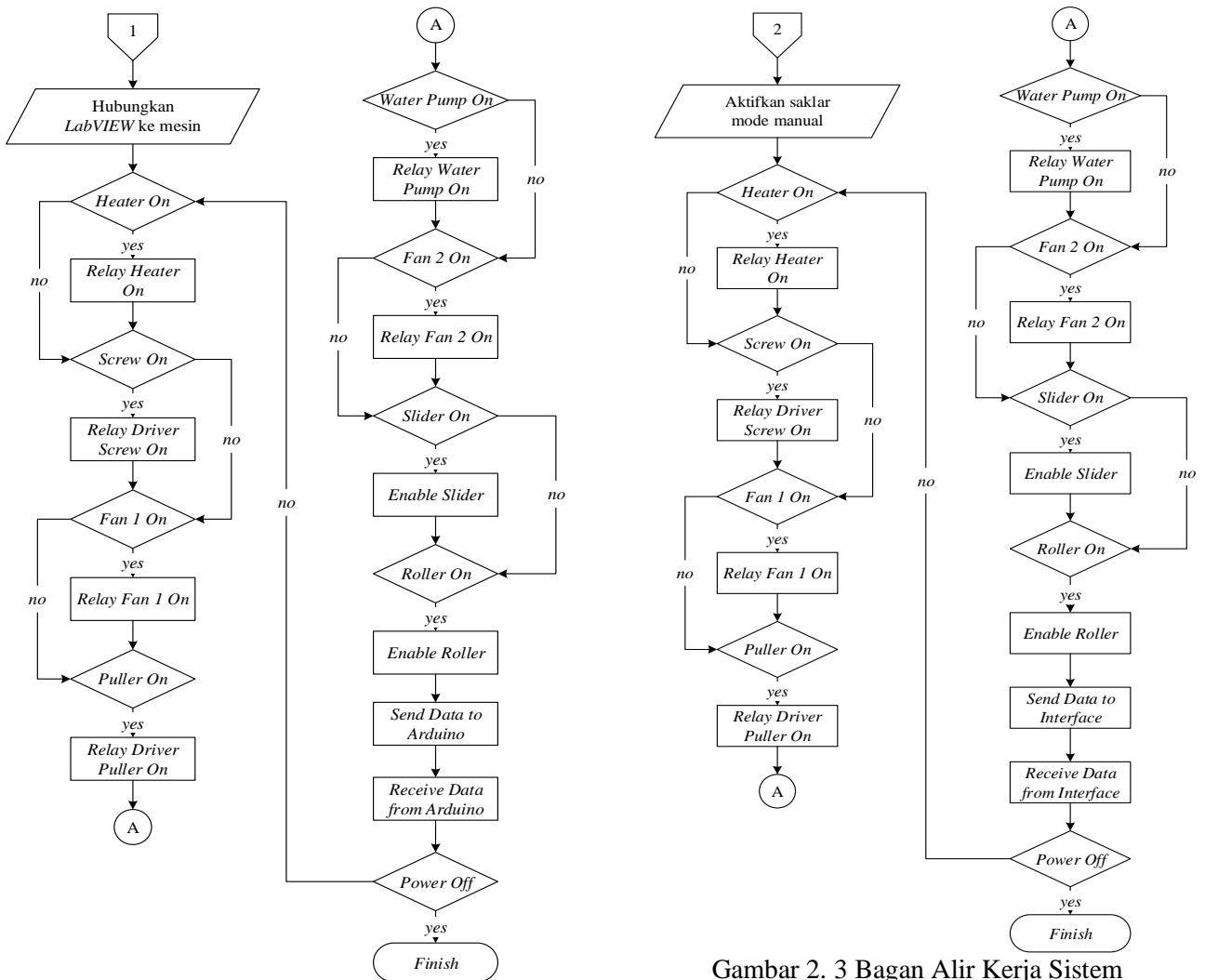


Gambar 2. 2 Perancangan Mekanik

Pada gambar 2.2 merupakan model sistem *extruder filament* ini dirancang untuk dapat menampung *plastic*, memanaskannya, mendorongnya hingga menjadi *filament* yang kontinu serta sampai ke proses penggulungan. Perangkat keras mekanik terdiri dari tiga bagian utama yaitu *base extruder*, *hopper*, *barrel*, *dies*, *heater*, *puller*, *slider*, dan juga *roller*. Sistem mekanik yang dibangun terdiri dari motor *DC*, motor *stepper*, serta *coupling* sebagai penerus putaran. Bahan yang digunakan untuk kerangka adalah *aluminium extruder* karena kokoh dan memiliki ketahanan terhadap karat, selain itu mudah untuk dirangkai karena bentuknya sudah umum.

2.2 Perancangan Flowchart

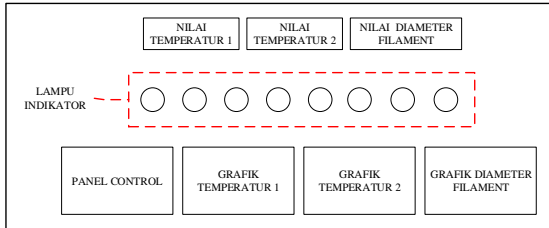




Gambar 2. 3 Bagan Alir Kerja Sistem

Secara garis besar, diagram alir sistem pengendalian dan pemantauan diawali dengan mengatur temperatur kemudian dilakukan pembacaan sensor *thermocouple* menggunakan *library* MAX6675 pada Arduino. Setelah di dapatkan nilai temperatur pada pembacaan *thermocouple* selanjutnya sistem mendapatkan nilai diameter hasil dari pembacaan *digital caliper*. Sistem dapat dikontrol dengan 2 cara, yaitu pengontrolan oleh PC yang menggunakan *software LabVIEW* atau pengontrolan oleh panel kontrol yang sudah tersedia pada mesin.

2.3 Perancangan Antarmuka



Gambar 2. 4 Perancangan Antarmuka

Gambar 2. 5 merupakan rancangan interface sistem yang dibuat. Pada rancangan ini terdapat *panel control*, grafik temperatur 1, grafik temperatur 2, grafik diameter *filament*, nilai temperatur 1, nilai temperatur 2, dan juga nilai diameter filament. *Interface* ini dibuat dengan menggunakan perangkat lunak *LabVIEW*.

3. Hasil Implementasi

3.1 Hasil dan Aktualisasi Perancangan



Gambar 3. 1 Hasil *Assembly* Mekanik

Pada gambar 3.1 merupakan hasil dari *assembly* sistem. Pada penelitian sebelumnya sistem yang digunakan yaitu proses pelelehan dan juga penarikan *filament*. Pengembangan yang dilakukan pada sistem ini sudah terintegrasi dari proses pelelehan material sampai proses penggulangan filament. Proses diawali dengan pelelehan material, kemudian proses pendinginan oleh kipas 1, selanjutnya dilakukan proses pengukuran oleh *digital caliper*, setelah proses pengukuran selanjutnya proses penarikan *filament* yang dilakukan oleh motor *puller*, kemudian *filament* akan masuk ke bak air untuk proses pendinginan, setelah itu *filament* masuk ke proses penggulangan. Pada sistem ini terdapat beberapa bagian, yaitu :

1. *Filament Extruder*
2. *Fan 1 & Fan 2*
3. *Filament Puller*
4. *Screw motor*
5. *Hopper*
6. *Barrel*
7. *Heater, thermocouple*
8. *Die*

9. *Water tank*
10. *Slider motor*
11. *Winding motor*
12. *Panel control*

3.2 Pengujian Sensor Digital Caliper

Pengujian *digital caliper* ini dilakukan dengan membandingkan hasil ukur antara jangka sorong serta *digital caliper* terhadap satu buah benda. Benda yang dimaksud adalah mata bor diameter 8 mm.



Gambar 3. 2 Benda uji diameter

Pada gambar 3.2 merupakan mata bor dengan diameter 8 mm. Pada pengujian ini dilakukan pengukuran diameter mata bor dengan menggunakan jangka sorong analog dan jangka sorong digital yang digunakan pada sistem. Pengukuran dilakukan sebanyak 20 kali untuk mendapatkan nilai perbandingan. Nilai tersebut dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Data hasil uji *digital caliper*

No.	Mata Bor 8 mm		
	<i>Analog Caliper (mm)</i>	<i>Digital Caliper (mm)</i>	Error (%)
1	8,00	7.97	0,37
2	8,00	7.94	0,75
3	8,00	7.90	1,25
4	8,00	7.93	0,87
5	8,00	7.93	0,87
6	8,00	7.92	1,0
7	8,00	7.94	0,75
8	8,00	7.94	0,75
9	8,00	7.92	1,0
10	8,00	7.92	1,0
11	8,00	7.92	1,0
12	8,00	7.91	1,12
13	8,00	7.94	0,75
14	8,00	7.94	0,75
15	8,00	7.94	0,75
16	8,00	7.97	0,37
17	8,00	8.01	0,13
18	8,00	7.98	0,25
19	8,00	7.97	0,37

20	8,00	8.01	0,13
Rata - rata error (%)			1,1

Pada tabel 4.1 dapat dilihat hasil pengujian *digital caliper*. Error rata-rata pembacaan total sebesar 1.1%. hal tersebut disebabkan oleh *assembly* perangkat yang mana kontak pengukuran *digital caliper* bersentuhan dengan *motor puller*. Bidang sentuh pengukuran tidak memiliki permukaan yang halus sehingga terjadi error pengukuran.

3.3 Pengujian Thermocouple

Pengujian *thermocouple* ini dilakukan dengan membandingkan pembacaan oleh *digital thermometer*. Pengujian ini dilakukan ketika kondisi *heater* yang diukur dalam keadaan dingin atau belum dipanaskan serta dalam keadaan panas. Heater pada sistem ada 2 yaitu pada bagian tengah dan bagian depan. Data pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. 2 Data hasil uji coba sebelum pemanasan

No.	Belakang			Depan			
	DTM	MAX6675	Error (%)	DTM	MAX6675	Error (%)	
1	27,1	27,25	0,6	26,8	26,75	0,2	
2	27	27,5	1,9	26,8	26,75	0,2	
3	27	27,25	0,9	26,9	27	0,4	
4	27	27,5	1,9	26,9	27	0,4	
5	27	27,25	0,9	26,9	26,75	0,6	
6	27	27,75	2,8	27	27	0,0	
7	27	27,75	2,8	26,9	26,75	0,6	
8	27	27,75	2,8	27	26,75	0,9	
9	26,9	27,25	1,3	27	26,5	1,9	
10	26,9	27,5	2,2	26,9	26,75	0,6	
11	26,9	27,25	1,3	26,9	27	0,4	
12	26,9	27	0,4	27	26,75	0,9	
13	26,9	26,75	0,6	26,9	26,75	0,6	
14	26,9	26,75	0,6	26,9	27	0,4	
15	26,9	27,25	1,3	27	27,25	0,9	
16	26,9	27	0,4	27	27	0,0	
17	26,9	27	0,4	26,9	27	0,4	
18	26,9	27,25	1,3	26,9	27	0,4	
19	26,8	27	0,7	26,9	27,25	1,3	
20	26,8	26,5	1,1	26,9	27,5	2,2	
Rata-rata Error (%)			1,3	Rata-rata Error (%)			0,7

Pada pembacaan suhu sebelum pemanasan terdapat rata-rata total yaitu 1%. beberapa

kesalahan pembacaan terjadi dikarenakan ketelitian dari *thermocouple* yang digunakan yaitu 0.25°C.

Tabel 3. 3 Data hasil uji coba sesudah pemanasan

No.	Belakang			Depan		
	DTM	MAX6675	Error (%)	DTM	MAX6675	Error (%)
1	29,5	30,00	1,7	29,1	29,00	0,3
2	30,7	30,75	0,2	30,5	29,25	4,1
3	31,4	31,25	0,5	32,0	29,75	7,0
4	33,7	32,00	5,0	34,0	31,50	7,4
5	38,0	33,00	13,2	36,2	32,00	11,6
6	38,7	33,75	12,8	37,7	32,75	13,1
7	41,4	36,75	11,2	40,2	33,75	16,0
8	43,2	37,50	13,2	42,6	35,75	16,1
9	45,5	39,50	13,2	44,8	37,25	16,9
10	47,7	41,25	13,5	45,3	40,25	11,1
11	53,3	44,75	16,0	46,5	44,25	4,8
12	55,5	44,75	19,4	52,5	46,50	11,8
13	59,0	52,25	11,4	56,2	48,25	14,1
14	62,0	54,25	12,5	60,6	50,25	17,1
15	64,2	58,25	9,3	63,6	52,25	17,8
16	66,0	59,00	10,6	64,2	53,75	16,3
17	67,0	62,00	7,5	67,0	55,50	17,2
18	69,0	64,25	6,9	74,0	59,75	19,3
19	70,0	65,50	6,4	78,0	62,25	20,2
20	78,2	73,50	6,1	80,1	65,75	17,9
21	83,0	78,75	5,1	81,5	68,25	16,3
22	85,0	82,50	2,9	85,5	70,50	17,5
23	90,0	88,25	1,9	88,3	74,50	15,6
24	92,4	91,00	1,5	91,0	76,75	15,7
25	93,8	92,75	1,1	93,5	78,50	16,0
26	96,4	96,25	0,2	95,7	81,75	15,6
27	98,2	97,00	1,2	97,6	83,75	14,1
28	100,5	100,00	0,5	100,3	87,50	12,8
29	102,2	102,50	0,3	104,4	90,25	13,6
30	104,2	104,50	0,3	108,4	94,50	12,8
31	106,0	105,50	0,5	110,3	97,00	12,1
32	107,8	107,75	0,0	114,2	98,75	13,5
33	109,6	110,00	0,4	115,5	104,50	9,5
34	112,6	113,25	0,6	120,0	107,50	10,4
35	115,7	116,00	0,3	121,7	110,25	9,4
36	120,0	122,50	2,1	124,2	113,50	8,6
37	123,3	127,00	3,0	125,6	117,75	6,3
38	128,0	130,25	1,8	126,0	121,25	3,8

39	130,0	135,00	3,8	136,0	132,75	2,4	27	91,75	57	142,00	27	91,5	57	139,75	
40	136,0	142,00	4,4	140,2	137,75	1,7	28	94,50	58	140,00	28	95	58	139,5	
Rata-rata Error (%)			5,6	Rata-rata Error (%)			12,2	29	97,75	59	139,00	29	98,5	59	141,75
Rata-rata Error (%)			5,6	Rata-rata Error (%)			12,2	30	100,50	60	140,25	30	106	60	139,75

Pada pembacaan suhu sebelum pemanasan terdapat rata-rata total yaitu 8,9%. Perbedaan pembacaan pada saat setelah pemanasan dan sebelum pemanasan dipengaruhi oleh kemampuan pembacaan sensor *thermocouple* dengan modul MAX665 selain itu dipengaruhi dengan perbedaan posisi penyimpanan sensor.

3.4 Pengujian Sistem Kendali Temperatur

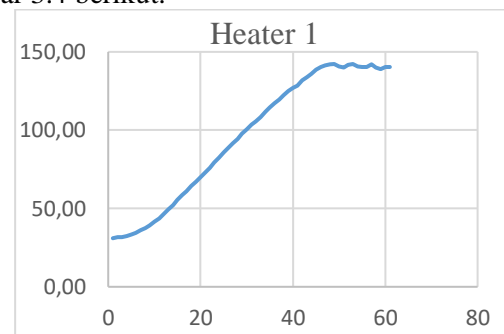
Pada pengujian sistem kendali, pengendalian yang digunakan yaitu kendali *On/Off*, menyalakan dan mematikan sumber tegangan ketika suhu target tercapai dan menyalakan sumber tegangan ketika suhu target belum tercapai. Data pengujian dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut.

Tabel 3. 4 Data Hasil uji coba *plotting* temperatur

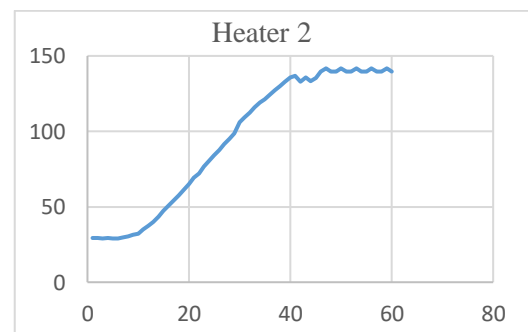
Belakang				Depan			
No	TC 1	No	TC 1	No	TC 2	No	TC 2
1	31,00	31	103,50	1	29,25	31	109,25
2	31,75	32	105,75	2	29,5	32	112,25
3	31,75	33	108,25	3	29	33	116
4	32,50	34	111,75	4	29,25	34	119
5	33,25	35	114,50	5	29	35	121,25
6	34,50	36	117,25	6	29	36	124,5
7	36,00	37	119,50	7	29,75	37	127,25
8	37,50	38	122,25	8	30,5	38	130,25
9	39,25	39	125,00	9	31,5	39	132,75
10	41,50	40	127,00	10	32	40	135,75
11	43,50	41	128,50	11	35	41	136,75
12	46,50	42	131,75	12	37,5	42	132,75
13	49,50	43	134,00	13	40	43	135,75
14	52,25	44	135,75	14	43,5	44	133,25
15	55,50	45	138,25	15	47,25	45	135,5
16	58,75	46	140,25	16	50,75	46	139,5
17	61,00	47	141,50	17	54,25	47	141,75
18	64,25	48	142,00	18	57,5	48	139,75
19	67,00	49	142,25	19	61,25	49	139,5
20	69,75	50	140,75	20	65	50	141,75
21	72,75	51	140,00	21	69,25	51	139,75
22	76,00	52	141,75	22	72,25	52	139,5
23	79,50	53	142,25	23	76,75	53	141,75
24	82,50	54	140,75	24	80,5	54	139,75
25	85,75	55	140,50	25	84	55	139,5
26	88,50	56	140,50	26	87,75	56	141,75

Pada tabel 3.4 data merupakan data hasil *plotting* per 30 detik. Data ini kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga dapat dilihat perilaku suhu setelah dikendalikan. Grafik perilaku suhu dapat dilihat pada gambar 3.3 dan gambar 3.4 berikut.

Pada tabel 3.4 data merupakan data hasil *plotting* per 30 detik. Data ini kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga dapat dilihat perilaku suhu setelah dikendalikan. Grafik perilaku suhu dapat dilihat pada gambar 3.3 dan gambar 3.4 berikut.



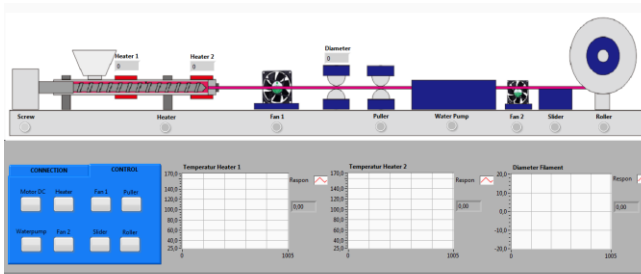
Gambar 3. 3 Perilaku heater 1



Gambar 3. 4 Perilaku heater 2

3.5 Hasil Program Antarmuka

Program antarmuka merupakan suatu antarmuka yang difungsikan untuk mempermudah pengguna dalam memonitor aktivitas sistem. Program antarmuka ini dilengkapi dengan tombol kontrol dan nilai pembacaan sensor secara *real time*. Fitur ini dapat mempermudah pengguna untuk mendapat informasi-informasi secara aktual sistem tersebut. Dengan fitur-fitur yang ada diharapkan program antarmuka ini selain dapat memonitor aktivitas sistem tersebut tetapi juga dapat memberikan umpan balik pada pengguna akan apa yang terjadi pada sistem selama digunakan. Detil hasil program, antarmuka dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 3. 5 Hasil Antarmuka

Pada antarmuka sistem terdapat beberapa fitur seperti yang telah ditunjukkan pada gambar 3.5. Keterangan pada gambar 3.5 dapat dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Keterangan fungsi antarmuka sistem

No	Fungsi	Keterangan
1	Tombol pengaktifkan atau menonaktifkan <i>screw</i>	untuk atau motor Fungsi
2	Tombol pengaktifkan atau menonaktifkan <i>heater</i>	untuk atau Fungsi
3	Tombol pengaktifkan atau menonaktifkan <i>fan 1</i>	untuk atau Fungsi
4	Tombol pengaktifkan atau menonaktifkan <i>puller</i>	untuk atau motor Fungsi
5	Tombol pengaktifkan atau menonaktifkan <i>water pump</i>	untuk atau Fungsi
6	Tombol pengaktifkan atau menonaktifkan fan 2	untuk atau Fungsi
7	Tombol pengaktifkan atau menonaktifkan <i>slider</i>	untuk atau motor Fungsi
8	Tombol pengaktifkan atau menonaktifkan motor <i>winding</i>	untuk atau motor Fungsi
9	Tampilan temperatur dan diameter <i>filament</i>	grafik data Fungsi
10	Lampu <i>indicator</i>	Fungsi
11	Nilai temperatur	Fungsi
12	Nilai diameter <i>filament</i>	Fungsi

3.6 Hasil Pengujian Ekstrusi

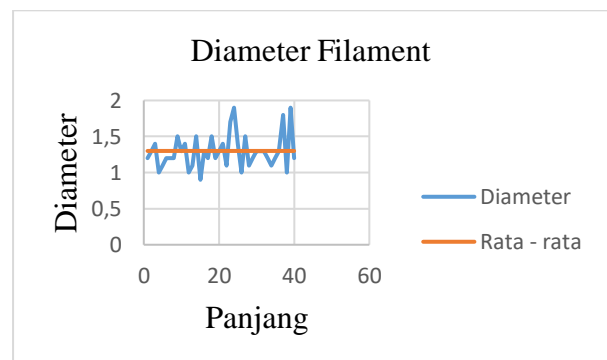
Pada pengujian hasil ekstrusi ini terdapat beberapa uji coba pada hasil *filament*. Pengujian perbedaan hasil ekstrusi dari serpihan material kasar dengan hasil ekstrusi dari serpihan halus. Serta dengan perbedaan suhu yang digunakan.

Pada pengujian hasil ekstrusi dengan ukuran material dan suhu yang berbeda, hasil ekstrusi dipotong menjadi 5 bagian dengan Panjang masing masing 160 mm. Kemudian dilakukan pengukuran diameter menggunakan jangka sorong pada masing masing potongan *filament* untuk setiap 20 mm.

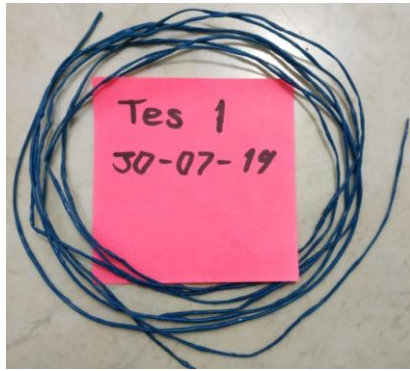
Tabel 3. 6 Hasil Ekstrusi dengan material kasar dan temperatur 225°C

Material Kasar dan Suhu 225 derajat Celcius									
No	Diameter dengan panjang ke- (mm)								Rata-rata
	20	40	60	80	100	120	140	160	
1	1,2	1,2	1,4	1,3	1,4	1	1,3	1,3	1,3
2	1,3	1,2	1	1,2	1,1	1,5	1,3	1,8	1,3
3	1,4	1,2	1,1	1,5	1,7	1,1	1,2	1	1,3
4	1	1,5	1,5	1,2	1,9	1,2	1,1	1,9	1,4
5	1,1	1,3	0,9	1,3	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2
Rata - rata diameter									1,3

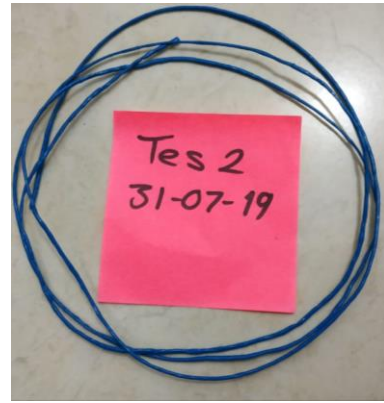
Pada tabel 3.6 menunjukan nilai diameter yang dihasilkan proses ekstrusi. Pada percobaan tersebut material yang digunakan berupa serpihan kasar dan temperatur *heater* diatur dengan nilai 225°C. Pada percobaan ini material yang berukuran kasar sulit untuk didorong oleh *screw*, sehingga terjadinya pengosongan material pada *screw* yang mengakibatkan kurang konsistensi *filament* yang dikeluarkan. Rata – rata diameter *filament* yang dihasilkan dari percobaan ini yaitu 1,3 mm. Grafik diameter *filament* dapat dilihat pada gambar 3.6 dan bentuk *filament* hasil uji coba pertama dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3. 6 Grafik diameter *filament* uji coba pertama



Gambar 3. 7 Hasil ekstrusi pada temperatur 225 °C



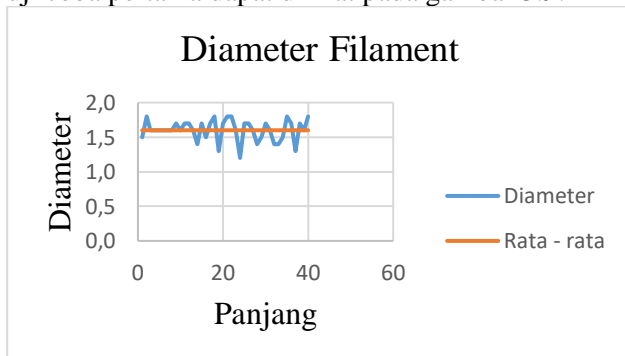
Gambar 3. 9 Hasil ekstrusi pada temperatur 220 °C

Selanjutnya dilakukan uji coba kedua dengan material lebih halus dan nilai temperatur 200°C. Hasil dari percobaan ini dapat dilihat pada tabel 3.7.

Tabel 3. 7 Hasil Ekstrusi dengan material halus dan temperatur 200°C

Material Halus dan Suhu 200 derajat Celcius									
No.	Diameter dengan panjang ke- (mm)								Rata-rata
	20	40	60	80	100	120	140	160	
1	1,5	1,6	1,7	1,5	1,8	1,7	1,6	1,7	1,6
2	1,8	1,6	1,7	1,7	1,8	1,6	1,4	1,3	1,6
3	1,6	1,6	1,6	1,8	1,6	1,4	1,4	1,7	1,6
4	1,6	1,7	1,4	1,3	1,2	1,5	1,5	1,6	1,5
5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,7
Rata - rata diameter									1,6

Pada tabel 3. 7 menunjukkan nilai diameter yang dihasilkan proses ekstrusi. Pada percobaan tersebut material yang digunakan berupa serpihan halus dan temperatur heater diatur dengan nilai 200°C. Pada percobaan ini material yang berukuran halus dapat terdorong dengan baik oleh screw sehingga filament yang dihasilkan lebih stabil. Rata – rata diameter filament yang dihasilkan dari percobaan ini yaitu 1,6 mm. Grafik diameter filament dapat dilihat pada gambar 3.8 dan bentuk filament hasil uji coba pertama dapat dilihat pada gambar 3.9.



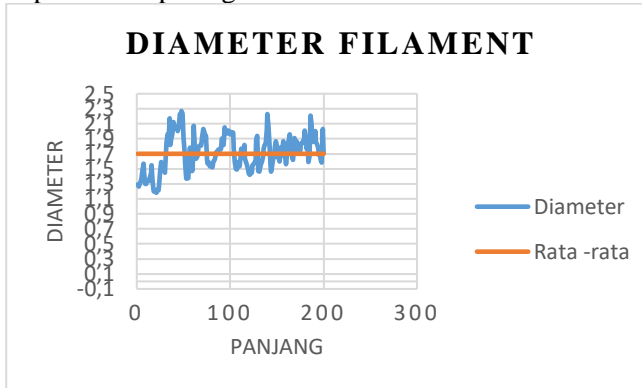
Gambar 3. 8 Grafik diameter filament uji coba kedua

Tabel 3. 8 Hasil ekstrusi dengan material halus dan temperatur 150° C

No	1	2	3	4	5	6	7	8	Rata-rata
1	1,29	1,59	1,72	1,57	1,96	1,45	1,65	1,84	1,63
2	1,26	1,49	1,56	1,59	1,99	1,58	1,68	1,84	1,62
3	1,3	1,51	1,37	1,53	1,98	1,88	1,6	1,87	1,63
4	1,32	1,51	1,37	1,55	1,77	1,94	1,78	1,9	1,64
5	1,37	1,45	1,38	1,55	1,59	1,47	1,74	2,01	1,57
6	1,48	1,72	1,63	1,52	1,5	1,46	1,75	1,91	1,62
7	1,57	1,85	1,78	1,6	1,49	1,5	1,87	1,76	1,68
8	1,44	1,96	1,6	1,62	1,59	1,56	1,67	1,86	1,66
9	1,3	1,91	1,47	1,64	1,58	1,6	1,63	1,59	1,59
10	1,3	2,17	1,49	1,72	1,53	1,66	1,56	1,66	1,64
11	1,34	1,82	2,07	1,73	1,66	1,77	1,69	2,21	1,79
12	1,34	1,02	1,58	1,75	1,77	1,82	1,84	2,09	1,65
13	1,34	1,97	1,63	1,73	1,76	1,84	1,92	1,86	1,76
14	1,39	2,12	1,64	1,77	1,72	2,02	1,96	1,86	1,81
15	1,44	2,07	1,67	1,76	1,82	2,23	1,87	1,89	1,84
16	1,55	2,07	1,79	1,9	1,63	2,07	1,68	2	1,84
17	1,32	2,05	1,81	1,82	1,59	1,84	1,62	1,72	1,72
18	1,2	2,04	1,81	1,82	1,5	1,54	1,69	1,83	1,68
19	1,2	2	1,81	2,05	1,31	1,46	1,91	1,79	1,69
20	1,2	2,06	1,94	1,99	1,3	1,54	1,8	1,68	1,69
21	1,18	2,23	2,03	1,97	1,29	1,64	1,87	1,68	1,74
22	1,23	2,21	2,01	2	1,27	1,66	1,74	1,62	1,72
23	1,21	2,27	1,96	2,01	1,18	1,78	1,74	1,58	1,72
24	1,28	2,24	1,94	2	1,24	1,87	1,71	2,03	1,79
25	1,46	1,9	1,62	1,96	1,39	1,8	1,75	1,71	1,70
Rata-rata									1,70

Pada tabel 3. 8 menunjukkan nilai diameter yang dihasilkan proses ekstrusi. Pada percobaan tersebut material yang digunakan berupa serpihan halus dan temperatur heater diatur dengan nilai 150°C. Pada percobaan ini material yang berukuran halus dapat terdorong dengan baik oleh screw sehingga

filament yang dihasilkan lebih stabil. Pada proses ini hasil ekstrusi lebih baik dikarenakan temperatur yang digunakan berada pada batas temperatur leleh material plastic jenis low density polyethylene yaitu berkisar 100°C – 150°C. Rata – rata diameter *filament* yang dihasilkan dari percobaan ini yaitu 1,7 mm. Grafik diameter dapat dilihat pada gambar 3.10 dan bentuk *filament* hasil uji coba pertama dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3. 10 Grafik diameter filament uji coba ketiga



Gambar 3. 11 Hasil ekstrusi pada temperatur 150°C

Dari hasil percobaan 1, 2, dan 3, terdapat beberapa bagian yang mempengaruhi diameter *filament* yaitu:

1. Pendorongan material oleh *screw*, apabila orongan material tidak lancar mengakibatkan keluaran dari proses ekstrusi tidak konsisten dan berpengaruh terhadap diameter.
2. Pendinginan oleh kipas 1, pendinginan pada tahap ini memiliki pengaruh terhadap filament yang keluar pada extruder, apabila tidak dilakukan pendinginan pada tahap ini maka diameter filament sulit untuk diukur dan dikendalikan.
3. Kecepatan penarikan *filament*, pada tahap ini memiliki peranan untuk mengontrol diameter *filament*. Kecepatan penarikan *filament* tergantung dari nilai diameter *filament* yang dibaca oleh *digital caliper*. Kecepatan minimum penarikan filament yaitu 42 m/jam,

sedangkan untuk kecepatan maksimum yaitu 60 m/jam. Kecepatan yang optimal untuk penarikan filament pada sistem ini yaitu 48 m/jam. Nilai kecepatan didapat dari hasil pengukuran panjang *filament* yang ditarik dengan waktu 60 detik. Kemudian nilai panjang *filament* dikali 60.

Tahap terakhir yaitu proses penggulungan, pada proses ini kecepatan penggulungan dikendalikan dengan tuas. Rata – rata kecepatan penggulungan yaitu 48 m/jam. Apabila kecepatan tidak sinkron dengan kecepatan penarikan *filament* maka hasil dari penggulungan tidak optimal.

4. Kesimpulan

Filament extruder yang dibangun terdiri dari motor DC sebagai pemutar *screw*, *ceramic heater* sebagai pemanas plastik, motor DC sebagai *filament puller*, *thermocouple* sebagai sensor suhu, *digital caliper* sebagai sensor diameter, kipas sebagai dan pompa air sebagai proses pendinginan filamen, *slider* dan *roller* sebagai proses akhir penggulungan filament.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada *filament extruder* yang telah dibangun, adapun beberapa kesimpulan yang dapat ditarik, diantaranya:

1. Sensor *digital caliper* mampu membaca diameter dengan *error* pembacaan sebesar 1.1% sehingga berpengaruh terhadap keakurasian nilai diameter *filament*.
2. Pembacaan sensor *thermocouple* pada suhu dibawah 30°C memiliki *error* sebesar 1%.
3. Diameter *filament* yang dihasilkan dari proses ekstrusi yaitu 1,7 mm dengan konsistensi sepanjang 100 mm.

Proses pendinginan dan kecepatan penarikan *filament* dapat berpengaruh terhadap diameter.

5. Saran

Demi perbaikan kekurangan yang ada pada tugas akhir ini agar menjadi alat yang lebih baik dan bermanfaat penulis meyarankan kepada pembaca yang akan melakukan penelitian dengan tema yang serupa, yaitu:

1. Gunakan *Screw* yang khusus digunakan untuk proses ekstrusi plastik.

6. Daftar Pustaka

- [1] Abdelhameed, Magdy. 2014. *VDI 2206*. Cairo: Ain Shams University.
- [2] Fadhilah, Arief., Heri Sugianto, dkk. 2011. *Kajian Pengelolaan Sampah Kampus Jurusan*

Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang: Undip.

- [3] Groover, M. 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing*. John Willey & Sons, inc. USA
- [4] K, Harimairajan., S, Sadhananthan., R, Sakthivel Murugan.2016. *Development of Plastic Filament for 3D Printing*. India: College of Engineering & Technology.
- [5] Khan, J. G., Dalu, R. S., Gadekar, S. S., 2014. *Defects in Extrusion Process and Their Impact on Product Quality*. Department of mechanical engineering. India.
- [6] Liptak, Bela. 2002. *Instrument Engineers' Handbook, Fourth Edition, Volume Two: Process Control and Optimization*. CRC/Taylor & Francis. Boca Raton.
- [7] Ma hadi. 2007. *Teknik Pembuatan Lembaran Polimer pada Proses Ekstrusi*. Universitas Sumatra Utara. Medan.
- [8] Raju, G., Sharma, M. L., Meena, M. L., 2014. *Recent Methods for Optimization of Plastic Extrusion Process: A Literature Review*. Department of mechanical engineering. India.
- [9] Ramadhan, Bagus. 2018. *Rancang Bangun Filament Extruder untuk Plastik Jenis Low Density Polyethylene*. Bandung: Polman.
- [10] Subramanian, S. S., Durga, S., Loshni, K. R., Kumar, V. D., 2016. *A Review on Control of Plastic Extrusion Process*. India: Department of Electronics & Instrumentation Engineering.
- [11] Surono, Utoro Budi. 2013. *Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak*. Yogyakarta: Universitas Janabadra Yogyakarta.
- [12] Purwaningrum Pramiati. 2016. *Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik di Lingkungan*. Jakarta: Universitas Trisakti.