

Pengaruh Tekanan Udara *Nozzle* pada Mesin *Muratec Vortex Spinning* terhadap Kualitas Benang

Hamdan S. Bintang¹, Hasna Khairunnisa², Gilang Qomaruzzaman³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Pembuatan Benang, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta

Jl. Ki Hajar Dewantara, Jebres, Surakarta, 57126

Email: ²hasna@ak-tekstilsolo.ac.id

ABSTRAK

Salah satu tahapan proses pemintalan adalah perubahan *sliver* menjadi benang yang dapat dilakukan dengan menggunakan tiga macam mesin, yaitu mesin *Ring Spinning*, Mesin *Open End (Rotor Spinning)*, dan Mesin Air Jet Spinning. PT Z merupakan perusahaan pemintalan yang memiliki unit khusus yang mengoperasikan mesin berteknologi *Air Jet Spinning* terbaru yang disebut dengan mesin *Muratec Vortex Spinning (MVS)*. Mesin jenis ini memiliki beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan dua mesin lainnya yaitu produktivitas lebih tinggi dan memiliki beberapa parameter kualitas yang lebih baik. Mesin MVS mempunyai proses pembentukan *twist* yang berbeda karena *twist* timbul melalui tekanan udara yang menghasilkan *twist* semu. Mekanisme pembentukan *twist* tersebut bergantung pada beberapa parameter, salah satunya adalah tekanan udara pada *nozzle*. Tekanan udara pada *nozzle* akan mempengaruhi struktur benang, sehingga berpengaruh erat dengan sifat dan kualitas benang akhir yang dihasilkan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tekanan udara pada *nozzle* di mesin MVS yang dimiliki oleh PT Z terhadap kualitas benang. Percobaan dilakukan dalam tiga tingkatan tekanan udara, di mana pada masing-masing tekanan udara dilakukan pengujian terhadap tujuh parameter kualitas benang. Berdasarkan pengujian, diperoleh tekanan udara pada *nozzle* paling optimal adalah pada 55 MPa. Sehingga tim produksi PT Z harus menjaga supaya dapat stabil pada angka tersebut. Ketidakstabilan tekanan udara akan berpengaruh pada *hairiness*, *Imperfection Index (IPI)*, dan kekuatan benang. Apabila tekanan udara turun, maka kekuatan pada benang menurun dan *hairiness* rendah, sedangkan jika tekanan udara naik maka kekuatan benang bertambah tetapi *hairiness* dan IPI tinggi. Beberapa parameter mesin harus diterapkan dan dirawat untuk menjaga kestabilan tekanan udara pada *nozzle*.

Kata kunci: *Muratec Vortex Spinning*, Tekanan udara, *hairiness*, *imperfection index*, kekuatan benang

ABSTRACT

One of the steps of yarn spinning process is the conversion of *sliver* into yarn which can be performed using three types of machines, namely *Ring Spinning machine*, *Open End (Rotor Spinning) machine* and *Air Jet Spinning machine*. PT Z is a spinning manufacturing company that has a special unit that operates the latest *Air Jet Spinning machine* called *Muratec Vortex Spinning*. This type of machine has several advantages over two other machines, such as higher productivity and better quality on several yarn parameters. MVS machine has different mechanism on *twist* formation since the *twist* is formed using air pressure producing 'false twist'. This false twist formation mechanism is depending on several parameters, one of them is the air pressure on its nozzles. The nozzle air pressure will influence the yarn structure, hence strongly affecting the final properties and quality of yarn. The purpose of this study was to determine the effect of nozzle air pressure to the yarn quality in MVS machine of PT Z. Trials was performed on three levels of nozzle air pressure, where seven yarn quality parameters were tested on each trial. Based on the trials, it was found that the most optimal nozzle air pressure is on 55 MPa. Production team of PT Z have to maintain the stability of the nozzle air pressure on this level. Its instability will affect the yarn *hairiness*, *imperfection index (IPI)*, and yarn strength. When the air pressure drops the yarn strength will be decreased and resulting in low *hairiness*. In the other hand, when the air pressure rises, the yarn strength will be increased but resulting in high yarn *hairiness* and IPI. Several machine parameters must be addressed well in order to maintain the nozzle air pressure.

Keywords: *Muratec Vortex Spinning*, air pressure, *hairiness*, *imperfection index*, yarn strength

I. Pendahuluan

Proses produksi tekstil berjalan dari hulu ke hilir dimulai dengan pembuatan benang hingga pembuatan garmen. Perusahaan tekstil pada proses hulu pembuatan benang melakukan suatu proses yang dikenal dengan proses *spinning* atau pemintalan. Proses pemintalan adalah proses mengubah bahan baku berupa serat menjadi benang dengan melewati berbagai tahapan proses menggunakan mesin yang berbeda-beda. Salah satu tahapan prosesnya adalah perubahan *sliver* menjadi benang yang dapat dilakukan dengan menggunakan tiga macam mesin, yaitu mesin *Ring Spinning*, Mesin *Open End (Rotor Spinning)*, dan Mesin *Air Jet Spinning* (Iskandar, [3]). PT Z merupakan perusahaan tekstil pemintalan yang berkembang dengan mayoritas produksinya untuk pasar ekspor. Sehingga untuk menunjang kesuksesan di bidang industri, PT Z harus memiliki mutu dan tingkat produktivitas yang tinggi. PT Z memiliki dua unit yang masing-masing memiliki jenis mesin yang berbeda untuk memproses benang jadi. Unit 1 memiliki mesin *Open End (OE)* dan *Muratec Vortex Spinning (MVS)*, sedangkan Unit 2 memiliki mesin *Ring Spinning*. Penelitian ini berfokus pada mesin *Muratec Vortex Spinning* yang merupakan pengembangan teknologi terbaru dari mesin *Air Jet Spinning* yang pertama kali dikembangkan oleh Murata Machinery Ltd. dan saat ini tergolong paling sukses secara global dan mendominasi penggunaan teknologi *Air Jet Spinning* (Erdumlu, et al., [2]).

Vortex Spinning merupakan teknologi pengembangan dari *air jet spinning* yang menggunakan tekanan udara untuk pembentukan *twist* pada benang. Benang yang dihasilkan biasa disebut dengan benang *Vortex*. Penggunaan mesin ini dalam proses pemintalan dapat meningkatkan produktivitas karena dapat memotong dua proses sekaligus (mesin *roving* – mesin *ring spinning* – mesin *winding*) menjadi hanya satu proses saja. Selain itu, teknologi *Vortex Spinning* juga mampu menghasilkan benang cotton carded 100% dengan struktur benang seperti benang ring spinning, namun dengan kecepatan produksi mencapai 500 meter/menit, jauh lebih tinggi daripada mesin *Ring Spinning* (Erdumlu, et al., [2]). Teknologi ini juga mampu menghasilkan benang dengan *Hairiness* dan variasi yang paling rendah dari mesin ring spinning dan open end, serta ketidakrataan yang jauh lebih rendah daripada mesin ring spinning (Ahmed, et al., [1]) Sehingga dengan kelebihan tersebut, sudah banyak perusahaan pemintalan yang mengoperasikan mesin itu untuk jenis benang tertentu.

Menurut Erdumlu, et al [2], Mesin MVS mempunyai tiga *drafting system* dan dua *air jet nozzle* yang menghasilkan pusaran udara yang berputar pada arah yang berlawanan. Pada sistem ini *nozzle* kedua menghasilkan *false twist* atau *twist* semu pada gumpalan serat yang keluar dari *front roller*. Sementara itu, diantara *front roller* dan *nozzle* pertama yang menghasilkan pusaran air di arah yang berlawanan membuat *twist* dihilangkan sebagian, dan sebagian ujung serat terpisah dari gumpalan seratnya untuk melewati *nozzle* kedua. Mekanisme pembentukan *twist* tersebut bergantung pada beberapa parameter, salah satunya adalah tekanan udara pada *nozzle*. Tekanan udara pada *nozzle* akan mempengaruhi struktur benang, sehingga berpengaruh erat dengan sifat dan kualitas benang akhir yang dihasilkan. Secara teoritis berdasarkan analisis numerik pada aliran udara dalam *nozzle*, peningkatan tekanan udara *nozzle* akan meningkatkan kecepatan aliran udara, dan mengurangi keseragaman pada benang yang dihasilkan karena menyebabkan *fibres loss* yang lebih banyak (Zou, et al [6]) serta menghasilkan benang dengan diameter yang lebih kecil dan kaku (Tyagi, et al [5]). Hal tersebut tentunya sangat berpengaruh terhadap kualitas akhir benang yang dihasilkan. Pei dan Yu [4] juga membuat *numerical study* terkait dengan pengaruh tekanan udara *nozzle* dan kecepatan *delivery* benang pada gerakan serat, di mana peningkatan kecepatan *delivery* benang berpengaruh pada *tenacity* benang. Oleh karena itu sangat penting untuk menjaga kualitas benang vortex ini supaya tetap menghasilkan karakteristik benang yang lebih baik dengan proses yang lebih cepat daripada mesin *ring spinning* dan mesin *Open End*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tekanan udara pada *nozzle* di mesin MVS yang dimiliki oleh PT Z terhadap kualitas benang Polyester (PE) dengan spesifikasi 28 PE 429 W Jika setelah tekanan udara yang tepat telah diketahui, maka proses pembuatan benang 100% polyester (PE) di PT Z dapat berjalan lancar dan kualitas produk yang dihasilkan tetap terjaga baik.

II. Metode Penelitian

Objek penelitian ini adalah mesin *Muratec Vortex Spinning* yang dimiliki oleh PT Z yang merupakan salah satu perusahaan tekstil di Indonesia sebagai lokasi pengambilan data. Mesin *Muratec Vortex Spinning* merupakan mesin yang berfungsi untuk mengubah *sliver* dari mesin *drawing finisher* menjadi benang melalui proses *drafting*, pembentukan *twist* semu, penyambungan benang serta penggulangan benang

dalam bentuk *cone*. Penelitian dilakukan dalam tiga skenario nilai tekanan udara, kemudian dibandingkan kualitas benang yang dihasilkan pada masing-masing tekanan tersebut berdasarkan nilai *thick*, *thin*, *nep*, *hairiness*, dan *tenacity* atau kekuatan tarik mulur benang menggunakan mesin Uster Tester. Penelitian dilakukan dengan beberapa tahap yaitu studi literatur dan perencanaan tujuan, pengambilan data, pengesanan kekuatan benang, analisis hasil, dan diakhiri dengan penarikan kesimpulan.

Benang yang digunakan dalam penelitian ini adalah benang dengan Nomor Benang (Ne) 28 jenis polyester (PE) yang dihasilkan oleh mesin *Muratec Vortex Spinning* yang memiliki 88 spindel dengan efisiensi 95%. Pengujian kualitas benang dilakukan dengan mengukur ketidakrataan benang menggunakan mesin Uster Tester, dilakukan dengan 10 sampel benang. Masing-masing sampel diuji dengan kecepatan 400 meter/menit selama satu menit, sehingga total sampel benang yang diuji sejumlah 4000 meter benang. Pengujian *tenacity* benang dilakukan menggunakan bantuan mesin Uster *Tensorapid* dengan 10 sampel benang, dengan kecepatan 5000 milimeter/menit.

III. Hasil dan Pembahasan

Hasil Pengujian

Percobaan dilakukan pada tiga tingkatan tekanan udara yaitu, pada 45 MPa, 55 MPa, dan 60 MPa. Tiga tingkat tekanan udara ini diambil untuk menentukan pada tingkat tekanan udara berapa mesin dapat berperforma baik dan menghasilkan benang dengan parameter kualitas yang paling tinggi. Pada masing-masing tingkat tekanan udara, pengujian dilakukan dengan 10 sampel benang yang masing-masing panjangnya 400 meter melalui mesin *Tensorapid* 5. Terdapat tujuh parameter kualitas benang yang diuji, yaitu sebagai berikut:

1. U%

U% menunjukkan persentase deviasi massa benang per satuan panjang material. Semakin tinggi nilai U%, berarti benang yang dihasilkan makin tidak seragam. Hasil pengujian U% dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian U%

Sampel Ke-	U% pada tekanan udara-		
	45 MPa	55 MPa	60 MPa
1	9,10	9,09	9,10
2	9,18	9,32	9,17
3	9,04	9,25	9,11
4	9,26	9,20	9,18
5	9,41	9,46	9,50
6	9,09	9,07	9,14
7	9,21	9,55	9,30
8	9,35	9,41	9,45
9	9,39	9,11	9,54
10	9,50	8,93	9,78
Rata-rata	9,25	9,24	9,33

Sumber : Data QC PT Z (2019)

2. Thin (-50%)

Thin merupakan benang tipis dengan cross sectional size -30% hingga -50% lebih kecil dibandingkan benang normal, dengan Panjang cacat 4 – 25 mm. Untuk pengujian ini akan diambil data dengan standard sensitivity level thin -50%. Hasil pengujian Thin (-50%) dapat dilihat pada Tabel 2.

3. Thick (+50%)

Thick merupakan benang tebal dengan cross sectional size +30% hingga +50% lebih besar dibandingkan benang normal, dengan panjang cacat (4 – 25) mm. Untuk pengujian ini akan diambil data dengan standard sensitivity level thick +50%. Hasil pengujian thick (+50%) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Pengujian Thin (-50%)

Sampel Ke-	Thin (-50%) pada tekanan udara-		
	45 MPa	55 MPa	60 MPa
1	0,00	2,50	0,00
2	2,50	2,50	2,50
3	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00
5	0,00	2,50	2,50
6	0,00	2,50	2,50
7	0,00	2,50	0,00
8	0,00	0,00	2,50
9	5,00	0,00	0,00
10	2,50	5,00	2,50
Rata-rata	1,00	1,75	1,25

Sumber : Data QC PT Z (2019)

Tabel 3. Hasil Pengujian Thick (+50%)

Sampel Ke-	Thick (+50%) pada tekanan udara-		
	45 MPa	55 MPa	60 MPa
1	2,50	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00
3	2,50	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00
5	7,50	0,00	0,00
6	2,50	0,00	2,50
7	0,00	0,00	5,00
8	2,50	7,50	5,00
9	7,50	5,00	2,50
10	5,00	0,00	2,50
Rata-rata	3,00	1,25	1,75

Sumber : Data QC PT Z (2019)

4. Neps (+200%)

Neps merupakan benang dengan gumpalan serat kusut yang menjadi satu dan membentuk bulatan kecil yang tidak dapat diuraikan lagi, dengan *cross sectional size* +140% hingga +400% lebih besar daripada benang normal, dengan panjang cacat satu mm. Untuk pengujian ini akan diambil data dengan standard *sensitivity level neps* +200%. Hasil pengujian *Neps* (200%) dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian *Neps* (+200%)

Sampel Ke-	Thick (+200%) pada tekanan udara-		
	45 MPa	55 MPa	60 MPa
1	2,50	0,00	0,00
2	0,00	2,50	0,00
3	0,00	0,00	2,50
4	0,00	0,00	0,00
5	2,50	0,00	2,50
6	2,50	0,00	5,00
7	0,00	0,00	7,50
8	0,00	0,00	5,00
9	7,50	2,50	0,00
10	2,50	0,00	2,50
Rata-rata	1,75	0,50	2,50

Sumber : Data QC PT Z (2019)

5. Hairiness (H)

Hairiness merupakan ukuran banyaknya serat/bulu yang keluar dari badan benang. Benang dengan kualitas baik akan memiliki hairiness yang rendah. Hasil pengujian Hairiness dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Hairiness

Sampel Ke-	Hairiness pada tekanan udara-		
	45 MPa	55 MPa	60 MPa
1	4,67	4,06	4,64
2	4,55	4,14	4,10
3	4,43	4,23	4,02
4	4,52	4,14	4,05
5	4,83	4,32	4,18
6	4,46	4,21	4,28
7	4,46	4,07	4,04
8	4,46	4,25	3,94
9	4,28	4,05	3,84
10	4,32	4,04	3,80
Rata-rata	4,50	4,15	4,09

Sumber : Data QC PT Z (2019)

6. Imperfection Index (IPI)

IPI merupakan indeks ketidakrataan benang yang diperoleh dari penjumlahan nilai Thin, Thick dan Neps. Semakin tinggi nilai IPI berarti ketidakrataan benang makin banyak sehingga kualitas benang makin buruk. Hasil pengujian IPI dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Imperfection Index (IPI)

Sampel Ke-	IPI pada tekanan udara-		
	45 MPa	55 MPa	60 MPa
1	5,00	2,50	0,00
2	2,50	5,00	2,50
3	2,50	0,00	2,50
4	0,00	0,00	0,00
5	10,00	2,50	5,00
6	5,00	2,50	10,00
7	0,00	2,50	12,50
8	2,50	7,50	12,50
9	20,00	7,50	2,50
10	10,00	5,00	7,50
Rata-rata	5,75	3,50	5,50

Sumber : Data QC PT Z (2019)

7. Kekuatan benang (Strength/Tenacity)

Kekuatan benang yaitu ukuran kekuatan yang dibutuhkan untuk dapat memutuskan satu helai benang, yang dinyatakan dalam Reisskilometer (RKM). RKM menunjukkan berapa panjang benang (dalam satuan kilometer) di mana benang tersebut putus karena menahan berat benang itu sendiri apabila ditarik secara vertikal. Hasil pengujian kekuatan benang dapat dilihat pada Tabel 7.

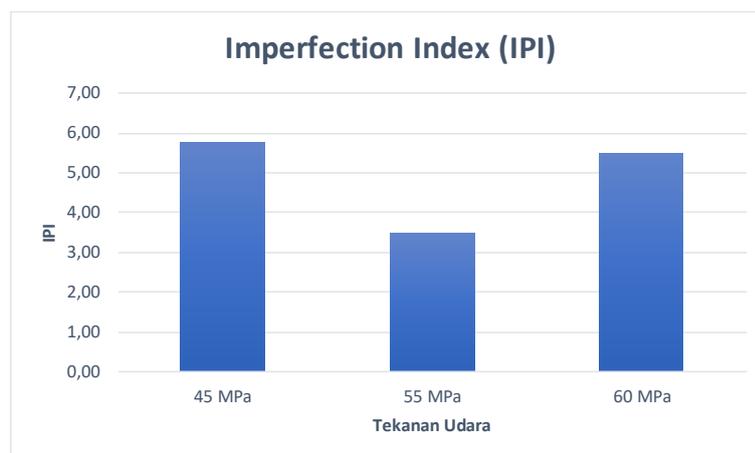
Tabel 5. Hasil Pengujian Kekuatan Benang

Sampel Ke-	Strength pada tekanan udara-		
	45 MPa	55 MPa	60 MPa
1	28,22	28,58	28,86
2	28,24	27,66	29,61
3	27,81	27,62	29,41
4	27,98	29,06	28,37
5	26,54	27,01	28,19
6	26,78	27,89	27,99
7	30,10	28,46	28,43
8	28,78	26,68	28,20
9	29,34	28,76	29,50
10	25,41	27,96	29,78
Rata-rata	27,92	27,97	28,83

Sumber : Data QC PT Z (2019)

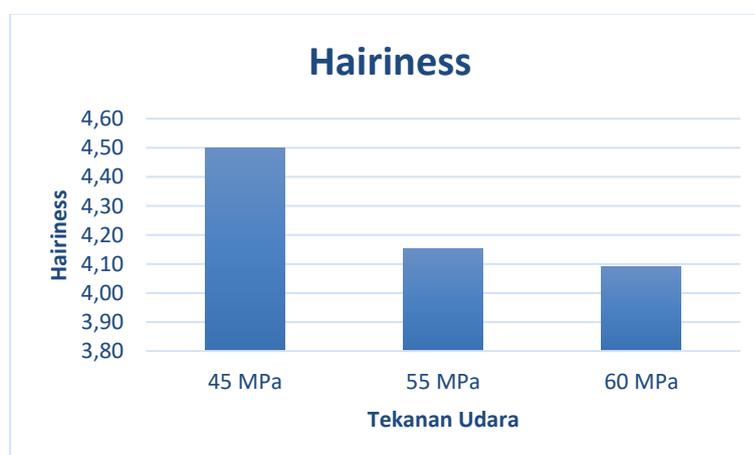
Analisis Data

Analisis data hasil pengujian dilakukan dengan membandingkan tiga parameter utama yaitu *hairiness*, *Imperfection Index* (IPI), dan kekuatan benang. Nilai *thick*, *thin*, dan *neps* tidak dibandingkan secara khusus karena nilainya sudah terhitung pada nilai IPI. Nilai rata-rata dari setiap parameter dibuat histogram yang dapat dilihat pada Gambar 1 untuk parameter IPI, Gambar 2 untuk parameter *hairiness*, dan Gambar 3 untuk parameter *strength* atau kekuatan benang.



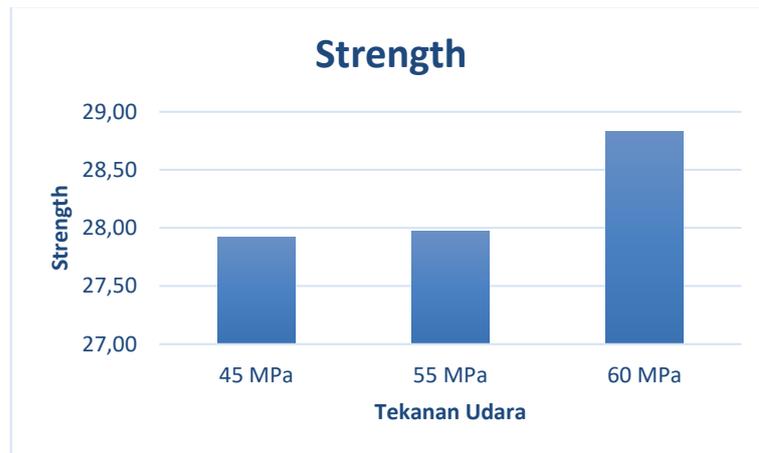
Gambar 1. Nilai Rata-rata Imperfection Index (IPI)

Sumber : Data Produksi PT Z (2019)



Gambar 2. Nilai Rata-rata *hairiness*

Sumber : Data Produksi PT Z (2019)



Gambar 3. Nilai Rata-rata *Strength*
 Sumber : Data Produksi PT Z (2019)

Berdasarkan data yang diperoleh dapat dilihat bahwa tekanan udara berpengaruh pada tingkat *imperfection* benang, berdasarkan nilai IPI nya, tekanan udara yang paling dapat menghasilkan IPI yang paling rendah adalah pada tingkat 55 MPa. Apabila dilihat dari segi *hairiness*, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tekanan udara, tingkat *hairiness* menjadi semakin rendah. Sehingga jika bertujuan untuk menghasilkan benang dengan tingkat *hairiness* yang paling rendah, tekanan udara pada 60 MPa akan dianjurkan untuk dipakai. Sementara dari sisi *strength* atau kekuatan benang, hubungannya berbanding terbalik dengan *hairiness*, justru semakin tinggi tekanan udara, semakin tinggi pula kekuatan benang. Apabila benang yang diproduksi diinginkan untuk membuat benang dengan kekuatan yang tinggi, maka dianjurkan menggunakan tekanan udara 60 MPa.

Pada studi kasus PT Z, data yang sedang diuji adalah untuk benang proses 28 PE 429 W, di mana karakteristik benang Polyester dibutuhkan benang dengan IPI dan *hairiness* yang rendah, namun tidak terlalu membutuhkan kekuatan yang terlalu tinggi. Meskipun kekuatan benang paling tinggi ditunjukkan pada tingkat tekanan udara 60 MPa, namun pada level ini IPI nya juga sangat tinggi, sementara hal tersebut tidak dikehendaki. Sehingga untuk kasus ini, perusahaan paling tepat untuk menyetel tekanan udara *nozzle* pada tingkat 55 MPa, sehingga diperoleh IPI dan *hairiness* yang rendah meskipun kekuatan benangnya tidak terlalu tinggi.

Tindak Lanjut

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa tingkat tekanan udara sangat berpengaruh pada kualitas benang akhir yang dihasilkan. Sehingga perlu untuk selalu dikontrol tekanan udara pada *nozzle* oleh pihak maintenance dan utility supaya berada pada level yang diinginkan sesuai dengan parameter benang yang ingin dicapai. Pengecekan dan perawatan pada daerah yang dilewati oleh udara pada mesin *Muratec Vortex Spinning* dilakukan secara berkala dan secara rutin agar tidak terjadinya tekanan udara turun dan menyebabkan kualitas rendah. Jika terjadi masalah tersebut, sesegera mungkin harus ditangani agar tidak menghambat jalannya produksi di mesin.

Penyesuaian tekanan udara *nozzle* dapat dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

1. Mengecek ulang daerah *nozzle* dengan membuka holder *nozzle* (keadaan mesin sudah mati).
2. Membersihkan daerah tersebut ketika dari waste yang tersisa atau kotoran lainnya.
3. Memasang kembali holder *nozzle* dan perhatikan perbagian baut pada holder *nozzle* guna agar tidak terjadi kebocoran udara yang dilewati.
4. Mengatur data tekanan udara *nozzle* pada layar display mesin.
5. Memutar saluran regulator sesuai data yang telah di tetapkan.
6. Menghidupkan kembali mesin *Muratec Vortex Spinning*.

IV. Simpulan

Tujuh parameter kualitas benang sudah diuji terhadap hasil produksi mesin *Muratec Vortex Spinning* pada tiga tingkatan tekanan udara *nozzle* yang berbeda. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa untuk proses pembuatan benang polyester dengan mesin *Muratec Vortex Spinning* pada PT Z diperoleh tekanan udara pada *nozzle* paling optimal adalah pada satuan 55 MPa. Jika tekanan udara turun maka kekuatan pada benang menurun dan *hairness* rendah, sedangkan jika tekanan udara naik maka kekuatan benang bertambah tetapi, *hairness* dan Imperfection Index (IPI) tinggi. Sehingga untuk menjaga kualitas benang yang dihasilkan, tekanan udara pada *nozzle* harus selalu dijaga supaya stabil pada kisaran 55 MPa. Beberapa parameter mesin yang perlu diperhatikan untuk menjaga stabilitas tekanan udara dan kualitas benang adalah *nozzle* (termasuk di dalamnya selang *nozzle*, *holder nozzle*, dan *fiber guide* serta indikator tekanan kompresor dan tekanan *nozzle*). Komponen – komponen tersebut juga harus dirawat secara rutin untuk menjaga performanya dalam mengatur tekanan udara pada mesin.

V. Daftar Pustaka

1. Ahmed, S., Syduzzaman, M., Mahmud, M. S., Ashique, S. M., & Rahman, M. M. Comparative study on ring, rotor and air-jet spun yarn. *European Scientific Journal*, 11(3), 2015
2. Erdumlu, N., Ozipek, B., & Oxenham, W. Vortex spinning technology. *Textile Progress*, 44(3-4), 2012, 141-174.
3. Iskandar, S., Pengoperasian Mesin Ring Spinning, Kementerian Perindustrian, Jakarta, 2015.
4. Pei, Z., & Yu, C. Numerical study on the effect of nozzle pressure and yarn delivery speed on the fiber motion in the nozzle of Murata vortex spinning. *Journal of Fluids and Structures*, 27(1), 2011, 121-133.
5. Tyagi, G. K., Sharma, D., & Salhotra, K. R. Process-structure-property relationship of polyester-cotton MVS yarns: Part I-Influence of processing variables on yarn structural parameters, 2004.
6. Zou, Z., Liu, S., Zheng, S., & Cheng, L. Numerical computation of a flow field affected by the process parameters of Murata vortex spinning. *Fibres Text East Eur*, 18(2), 2010, 35-39.