

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

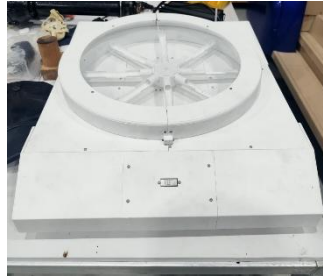
Bab ini menyajikan hasil rancang bangun serta hasil pengujian Alat Optimalisasi Spidol Menggunakan Teknologi Sentrifugal yang telah direalisasikan berdasarkan tahapan penelitian pada Bab III. Pembahasan diawali dengan penyajian hasil fabrikasi alat dan pengujian fungsional untuk memastikan seluruh komponen bekerja sesuai dengan rancangan. Selanjutnya disajikan hasil pengujian menggunakan variasi waktu pemutaran pada dua tingkat kecepatan putar, yaitu *Speed 1* dan *Speed 2*. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi waktu pemutaran dan kecepatan putar terhadap panjang garis yang dihasilkan sebagai indikator performa distribusi tinta pada spidol.

4.1 Hasil Rancang Bangun Alat

4.1.1 Hasil Fabrikasi Alat

Berdasarkan proses perancangan yang telah dilakukan pada Bab III, berhasil direalisasikan sebuah Alat Optimalisasi Spidol Menggunakan Teknologi Sentrifugal sesuai dengan desain yang telah dirancang. Proses fabrikasi dilakukan melalui pembuatan komponen menggunakan teknologi *3D printing*, kemudian dilanjutkan dengan proses perakitan komponen mekanik dan kelistrikan hingga menjadi satu kesatuan alat yang siap digunakan untuk proses pengujian.

Hasil fabrikasi alat secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 4.1. Alat terdiri atas rangka utama,udukan penahan spidol, penutup transparan berbahan akrilik, motor kipas AC 220 V sebagai penggerak utama, knop pengatur kecepatan bawaan motor, *microswitch* sebagai sistem pengaman, serta kabel power yang terhubung dengan sumber listrik PLN 220 V AC



Gambar 4. 1 Hasil Fabrikasi Alat

Tabel 4. 1 Komponen Material dan Fungsi

No.	Komponen	Material	Fungsi
1	Rangka utama	PLA(<i>Polylactic Acid</i>) (3D Printing)	Menopang seluruh komponen alat sehingga tetap kokoh selama proses pengujian.
2	Dudukan penahan spidol	PLA (<i>Polylactic Acid</i>) (3D Printing)	Sebagai tempat pemasangan delapan spidol dan meneruskan putaran motor sehingga menghasilkan gaya sentrifugal pada spidol.
3	Penutup transparan	Akrilik	Melindungi pengguna dari komponen yang berputar serta memudahkan pengamatan selama proses pengujian.
4	Motor kipas AC 220 V	Logam dan plastik	Menghasilkan putaran sebagai sumber gaya sentrifugal untuk menggerakkan dudukan.
5	Knop pengatur kecepatan (0–1–2)	Bawaan motor	Mengatur kondisi motor pada posisi OFF, <i>Speed 1</i> , dan <i>Speed 2</i> sesuai kebutuhan pengujian.
6	Microswitch	Plastik dan logam	Berfungsi sebagai safety interlock, yaitu menghubungkan arus listrik hanya ketika penutup alat tertutup sempurna dan memutus arus saat penutup dibuka.
7	Kabel power	PVC dan	Menyalurkan energi listrik dari

	AC	tembaga	sumber PLN 220 V menuju motor.
8	Poros dudukan	Baja	Meneruskan putaran motor menuju dudukan sehingga dudukan dapat berputar secara stabil.
9	Dudukan motor	PLA (<i>Polylactic Acid</i>) (3D Printing)	Menjaga posisi motor tetap kokoh dan sejajar dengan poros dudukan selama pengoperasian.

Rangka utama dan dudukan penahan spidol dibuat menggunakan material Polylactic Acid (PLA) melalui proses *3D printing*. Material PLA (*Polylactic Acid*) dipilih karena memiliki massa yang ringan, cukup kaku, mudah diproduksi, serta mampu menghasilkan dimensi yang presisi sesuai desain. Sementara itu, penutup bagian atas menggunakan lembaran akrilik transparan yang berfungsi sebagai pelindung sekaligus memudahkan proses pengamatan terhadap dudukan dan spidol selama proses pemutaran berlangsung.

Pengaturan kecepatan putar dilakukan menggunakan knop bawaan motor kipas yang memiliki tiga posisi pengoperasian, yaitu posisi 0 (OFF), 1 (*Speed 1*), dan 2 (*Speed 2*). Dengan demikian, pengguna dapat memilih kecepatan putar sesuai kebutuhan pengujian tanpa memerlukan rangkaian pengatur kecepatan tambahan.

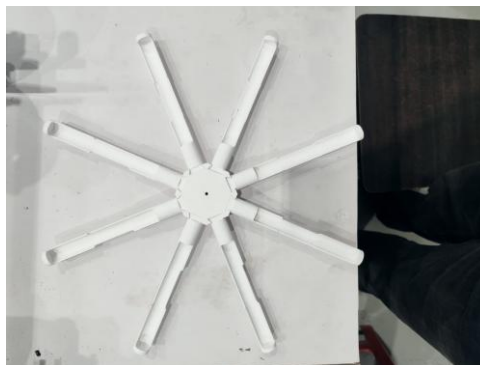
Untuk meningkatkan aspek keselamatan selama pengoperasian, alat dilengkapi dengan microswitch yang dipasang pada bagian penutup. Microswitch dirancang sebagai sistem pengaman (*safety interlock*) yang hanya menghubungkan aliran listrik menuju motor ketika penutup berada pada posisi tertutup sempurna. Sebaliknya, apabila penutup dibuka, aliran listrik akan terputus secara otomatis sehingga motor berhenti berputar. Sistem ini

diterapkan untuk mengurangi risiko kecelakaan kerja akibat kontak langsung dengan dudukan yang sedang berputar.

4.1.2 Hasil Fabrikasi Dudukan Penahan Spidol

Dudukan penahan spidol merupakan komponen utama yang berfungsi sebagai tempat pemasangan spidol selama proses optimalisasi tinta menggunakan gaya sentrifugal. Dudukan dibuat menggunakan material Polylactic Acid (PLA) melalui proses *3D printing* dan dirancang memiliki delapan slot yang tersusun secara simetris mengelilingi poros putar.

Setiap slot dirancang mengikuti bentuk geometris badan spidol Snowman Board Marker sehingga spidol dapat ditempatkan secara stabil tanpa memerlukan mekanisme pengunci tambahan.



Gambar 4. 2 Dudukan Penahan Spidol

Desain ini mampu menahan posisi spidol selama proses pemutaran berlangsung sehingga spidol tidak bergeser maupun terlepas akibat gaya sentrifugal yang bekerja.

Penggunaan delapan slot memungkinkan proses optimalisasi dilakukan terhadap delapan spidol secara bersamaan sehingga meningkatkan kapasitas pengujian dibandingkan desain sebelumnya. Susunan slot yang simetris juga

membantu menjaga keseimbanganudukan sehingga putaran yang dihasilkan menjadi lebih stabil.

4.1.3 Pengujian Fungsional Alat

Sebelum dilakukan pengujian terhadap sampel spidol, alat terlebih dahulu dilakukan pengujian fungsional untuk memastikan seluruh komponen bekerja sesuai dengan rancangan. Pengujian meliputi fungsi motor, dudukan penahan spidol, knop pengatur kecepatan, serta microswitch sebagai sistem pengaman.

Tabel 4. 2 Pengujian Fungsional Alat

Komponen	Hasil
Motor	Berfungsi
Dudukan	Stabil
Microswitch	Berfungsi
Knop <i>Speed</i>	Berfungsi

4.2 Data Hasil Pengujian Alat

Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh durasi waktu pemutaran (*spinning*) terhadap performa optimalisasi spidol yang diukur melalui panjang total garis yang dihasilkan (cm). Pengujian ini menggunakan dua variasi kecepatan motor, yaitu *Speed 1* (568,3 RPM) dan *Speed 2* (673,3 RPM) dengan volume pengisian tinta yang seragam sebesar 0,3 ml.

4.2.1 Data Pengaruh Waktu Terhadap Kinerja Spidol *Speed 1*

Hasil pengujian optimalisasi spidol pada kecepatan 568,3 RPM dengan variasi durasi waktu pemutaran antara 142 detik hingga 292 detik disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Data Pengujian *Speed 1*

No	Waktu (s)	Panjang Garis (cm)	Rata-Rata (cm)
1	142	0	0.0
2		0	
3		0	
4	172	200	400.0
5		600	
6		400	
7	202	1700	2000.0
8		2000	
9		2300	
10	232	2400	2700.0
11		3000	
12		2700	
13	262	1400	1800.0
14		1800	
15		2200	
16	292	400	866.7
17		1200	
18		1000	

4.2.2 Data Pengaruh Waktu Terhadap Kinerja Spidol *Speed 2*

Hasil pengujian optimalisasi spidol pada kecepatan tinggi yaitu 673,3 RPM dengan variasi durasi waktu pemutaran antara 5 detik hingga 175 detik disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Data Pengujian *Speed 2*

No	Waktu (s)	Panjang Garis (cm)	Rata-Rata (cm)
1	5	0	0.0
2		0	
3		0	
4	15	700	933.3
5		900	
6		1200	
7	25	2700	3000.0
8		3300	
9		3000	
10	55	2700	3500.0
11		4100	
12		3700	
13	85	2200	2366.7
14		2500	
15		2400	
16	115	2200	2166.7
17		2300	
18		2000	
19	145	800	1366.7
20		1800	
21		1500	
22	175	200	666.7
23		1000	
24		800	

4.2.3 Data Pengaruh Volume Tinta Terhadap Kinerja Spidol *Speed 1*

Tabel 4. 5 Data Pengujian Variasi Volume Tinta *Speed 1*

No	Volume Tinta (ml)	Panjang Garis (cm)	Rata- Rata (cm)
1	0.2	0	0.0
2		0	
3		0	
4	0.3	2400	2700.0
5		3000	
6		2700	
7	0.4	7700	7666.7
8		7300	
9		8000	
10	0.5	10600	10566.7
11		10300	
12		10800	

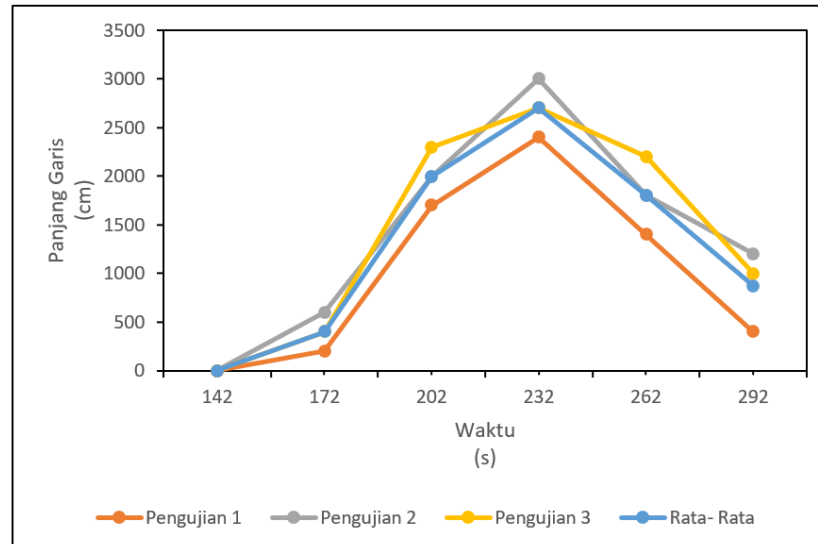
4.2.4 Data Pengaruh Volume Tinta Terhadap Kinerja Spidol *Speed 2*

Tabel 4. 6 Data Pengujian Variasi Volume Tinta *Speed 2*

No	Volume Tinta (ml)	Panjang Garis (cm)	Rata Rata (cm)
1	0.2	0	0.0
2		0	
3		0	
4	0.3	2700	3500.0
5		4100	
6		3700	
7	0.4	6700	6733.3
8		7000	
9		6500	
10	0.5	8800	9200.0
11		9300	
12		9500	

4.3 Analisis dan Pembahasan

4.3.1 Pengaruh Waktu terhadap Kinerja Spidol *Speed 1*



Gambar 4. 3 Pengaruh Waktu Pemutaran terhadap kinerja Spidol pada *Speed 1*

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada kecepatan putar *Speed 1* (568,3 RPM) diperoleh rata-rata panjang garis yang dihasilkan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.3. Nilai rata-rata panjang garis yang diperoleh berturut-turut adalah 0 cm pada 142 detik, 400 cm pada 172 detik, 2.000 cm pada 202 detik, 2.700 cm pada 232 detik, 1.800 cm pada 262 detik, dan 866,7 cm pada 292 detik.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemutaran, distribusi tinta menuju ujung *felt tip* semakin meningkat hingga mencapai kondisi optimum pada waktu 232 detik. Pada waktu 142 detik, tinta belum mampu mencapai ujung *felt tip* sehingga spidol belum dapat digunakan untuk menulis. Kondisi ini menunjukkan bahwa gaya sentrifugal yang bekerja masih

belum cukup untuk mendorong tinta berpindah dari media penyerap menuju ujung spidol.

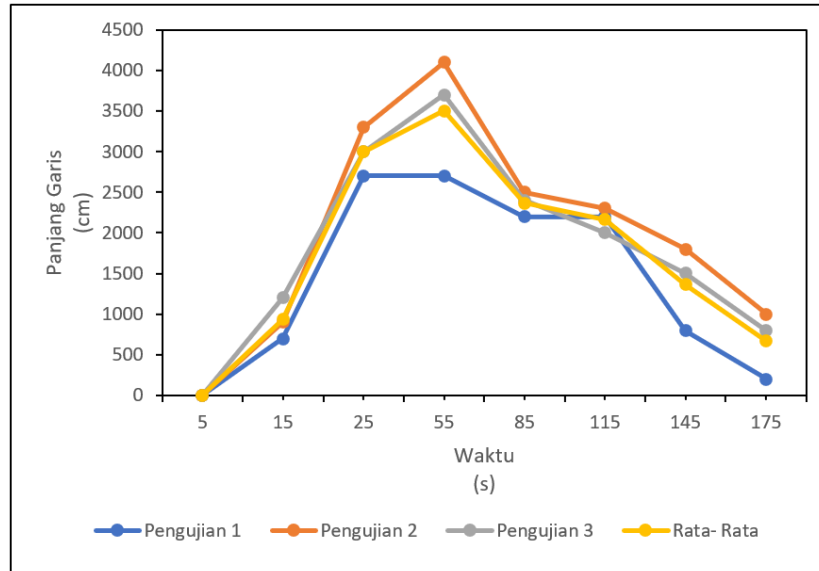
Ketika waktu pemutaran ditingkatkan menjadi 172 detik, tinta mulai mencapai ujung *felt tip*, namun jumlah tinta yang tersedia masih terbatas sehingga garis yang dihasilkan relatif pendek. Selanjutnya pada waktu 202 detik terjadi peningkatan yang cukup signifikan karena tinta telah terdistribusi lebih merata pada media penyerap di ujung spidol.

Panjang garis maksimum diperoleh pada waktu 232 detik dengan rata-rata sebesar 2.700 cm. Kondisi ini menunjukkan bahwa distribusi tinta telah berlangsung secara optimal sehingga jumlah tinta yang tersedia pada *felt tip* berada pada kondisi yang paling sesuai untuk menghasilkan garis tulisan yang panjang dan stabil.

Setelah waktu pemutaran melebihi 232 detik, panjang garis justru mengalami penurunan. Pada waktu 262 detik rata-rata panjang garis turun menjadi 1.800 cm, sedangkan pada waktu 292 detik hanya mencapai 866,7 cm. Penurunan tersebut terjadi karena tinta terdorong secara berlebihan menuju bagian depan spidol sehingga sebagian tinta keluar dari media penyerap dan terakumulasi pada bagian dalam tutup spidol (*ink flooding*). Akibatnya jumlah tinta yang tersisa pada media penyerap berkurang sehingga panjang garis yang dihasilkan menjadi lebih pendek.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa waktu pemutaran yang terlalu singkat maupun terlalu lama sama-sama menyebabkan penurunan performa spidol. Oleh karena itu, waktu pemutaran 232 detik ditetapkan sebagai waktu optimum pada *Speed 1*.

4.3.2 Pengaruh Waktu terhadap Kinerja Spidol pada *Speed 2*



Gambar 4. 4 Grafik Pengaruh Waktu Pemutaran terhadap Kinerja Spidol pada *Speed 2*

Pengujian pada *Speed 2* (673,3 RPM) dilakukan dengan variasi waktu yang lebih rapat pada awal pengujian, yaitu 5 detik dan 15 detik, karena berdasarkan pengujian pendahuluan distribusi tinta berlangsung lebih cepat dibandingkan *Speed 1*.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh rata-rata panjang garis sebesar 0 cm pada 5 detik, 933,3 cm pada 15 detik, 3.000 cm pada 25 detik, 3.500 cm pada 55 detik, 2.366,7 cm pada 85 detik, 2.166,7 cm pada 115 detik, 1.366,7 cm pada 145 detik, dan 666,7 cm pada 175 detik.

Pada waktu 10 detik, tinta belum mencapai ujung *felt tip* sehingga spidol belum mampu menghasilkan garis tulisan. Ketika waktu pemutaran ditingkatkan menjadi 15 detik, tinta mulai mencapai ujung *felt tip* sehingga

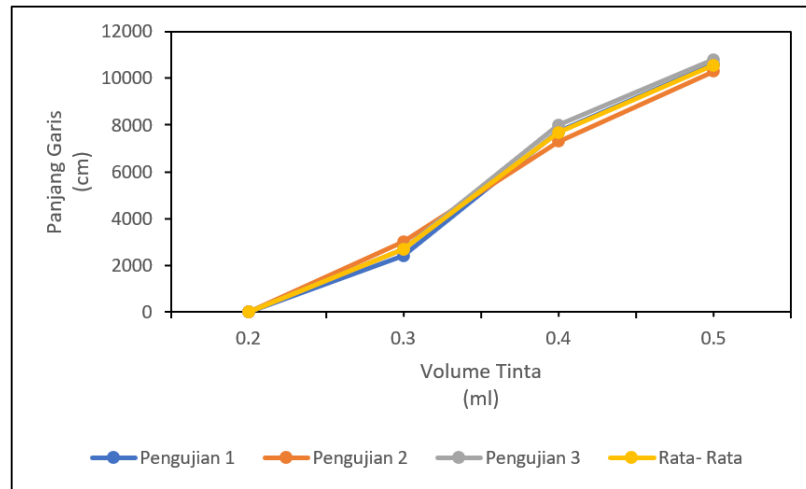
spidol mulai dapat digunakan untuk menulis meskipun panjang garis yang dihasilkan masih relatif pendek.

Peningkatan yang paling signifikan terjadi pada waktu 25 detik hingga 55 detik. Pada waktu 55 detik diperoleh rata-rata panjang garis sebesar 3.500 cm, yang merupakan nilai tertinggi selama pengujian. Kondisi ini menunjukkan bahwa distribusi tinta menuju ujung *felt tip* telah berlangsung secara optimum.

Setelah melewati waktu optimum, panjang garis kembali mengalami penurunan secara bertahap. Pada waktu 85 detik, 115 detik, 145 detik, dan 175 detik panjang garis terus menurun. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa gaya sentrifugal yang bekerja terlalu lama menyebabkan tinta terdorong secara berlebihan keluar dari media penyerap sehingga sebagian tinta terakumulasi pada bagian dalam tutup spidol (*ink flooding*). Kondisi ini menyebabkan jumlah tinta yang tersedia pada *felt tip* berkurang sehingga performa spidol kembali menurun.

Dibandingkan *Speed 1*, waktu optimum pada *Speed 2* jauh lebih singkat yaitu 55 detik. Hal ini disebabkan oleh kecepatan putar yang lebih tinggi sehingga gaya sentrifugal yang dihasilkan juga lebih besar, mengakibatkan proses redistribusi tinta berlangsung lebih cepat.

4.3.3 Pengaruh Volume Tinta terhadap Kinerja Spidol pada *Speed 1*



Gambar 4. 5 Grafik Pengaruh Volume Tinta terhadap Kinerja Spidol pada *Speed 1*

Setelah diperoleh waktu optimum pada *Speed 1*, pengujian dilanjutkan dengan variasi volume tinta menggunakan waktu pemutaran tetap selama 235 detik. Volume tinta yang diuji adalah 0,2 mL, 0,3 mL, 0,4 mL, dan 0,5 mL.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh rata-rata panjang garis sebesar 0 cm untuk volume 0,2 mL, 2.700 cm untuk volume 0,3 mL, 7.666,7 cm untuk volume 0,4 mL, dan 10.566,7 cm untuk volume 0,5 mL.

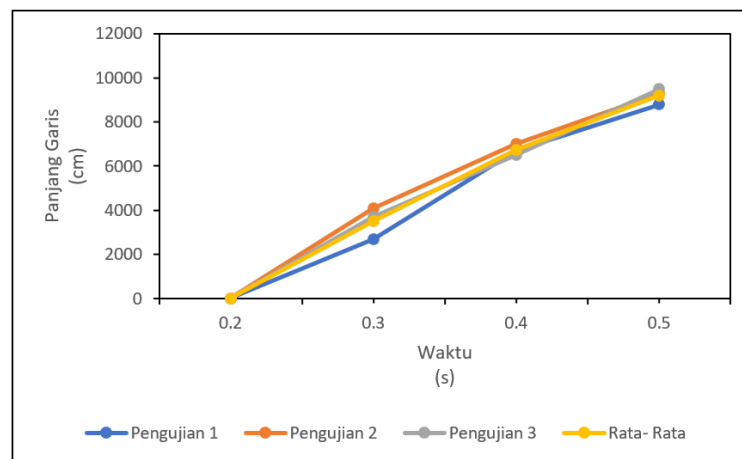
Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan volume tinta memberikan pengaruh positif terhadap panjang garis yang dihasilkan. Pada volume 0,2 mL, jumlah tinta yang tersedia belum mencukupi untuk membasahi media penyerap secara optimal sehingga spidol belum mampu menghasilkan garis tulisan.

Ketika volume tinta ditingkatkan menjadi 0,3 mL, spidol mulai menghasilkan garis yang panjang dan stabil. Selanjutnya pada volume 0,4 mL dan 0,5 mL, panjang garis meningkat secara signifikan karena jumlah tinta yang

tersedia di dalam media penyerap semakin banyak sehingga distribusi tinta menuju ujung *felt tip* menjadi lebih optimal.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi waktu pemutaran optimum, panjang garis yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh jumlah tinta yang tersedia di dalam media penyerap. Semakin besar volume tinta yang diberikan, semakin panjang garis yang mampu dihasilkan oleh spidol.

4.3.4 Pengaruh Volume Tinta terhadap Kinerja Spidol pada *Speed 2*



Gambar 4. 6 Grafik Pengaruh Volume Tinta terhadap Kinerja Spidol pada *Speed 2*

Pengujian variasi volume tinta pada *Speed 2* dilakukan menggunakan waktu pemutaran tetap selama 55 detik, yaitu waktu optimum yang diperoleh dari pengujian variasi waktu.

Hasil pengujian menunjukkan rata-rata panjang garis sebesar 0 cm pada volume 0,2 mL, 3.500 cm pada volume 0,3 mL, 6.733,3 cm pada volume 0,4 mL, dan 9.200 cm pada volume 0,5 mL.

Secara umum terjadi peningkatan panjang garis seiring bertambahnya volume tinta. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar jumlah tinta yang tersedia di dalam media penyerap, semakin banyak tinta yang dapat didistribusikan menuju ujung *felt tip* selama proses pemutaran.

Apabila dibandingkan dengan *Speed 1*, panjang garis yang dihasilkan pada *Speed 2* cenderung sedikit lebih rendah pada volume tinta 0,4 mL dan 0,5 mL. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa gaya sentrifugal yang lebih besar pada *Speed 2* mempercepat proses distribusi tinta, namun juga meningkatkan kecenderungan terjadinya kehilangan tinta menuju bagian dalam tutup spidol apabila jumlah tinta yang tersedia semakin banyak. Oleh karena itu, meskipun distribusi tinta berlangsung lebih cepat, sebagian tinta tidak seluruhnya dimanfaatkan untuk proses penulisan.

4.3.5 Karakteristik Distribusi Tinta Pada Spidol

Berdasarkan seluruh hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa distribusi tinta pada spidol dipengaruhi oleh dua parameter utama, yaitu waktu pemutaran dan volume tinta. Waktu pemutaran menentukan lamanya gaya sentrifugal bekerja untuk mendorong tinta menuju ujung *felt tip*, sedangkan volume tinta menentukan jumlah tinta yang tersedia untuk didistribusikan.

Apabila waktu pemutaran terlalu singkat, gaya sentrifugal belum mampu mendorong tinta hingga mencapai ujung *felt tip*, sehingga spidol belum dapat digunakan. Sebaliknya, apabila waktu pemutaran terlalu lama, tinta terdorong secara berlebihan sehingga sebagian tinta keluar dari media penyerap dan terakumulasi pada bagian dalam tutup spidol (*ink flooding*). Kondisi tersebut

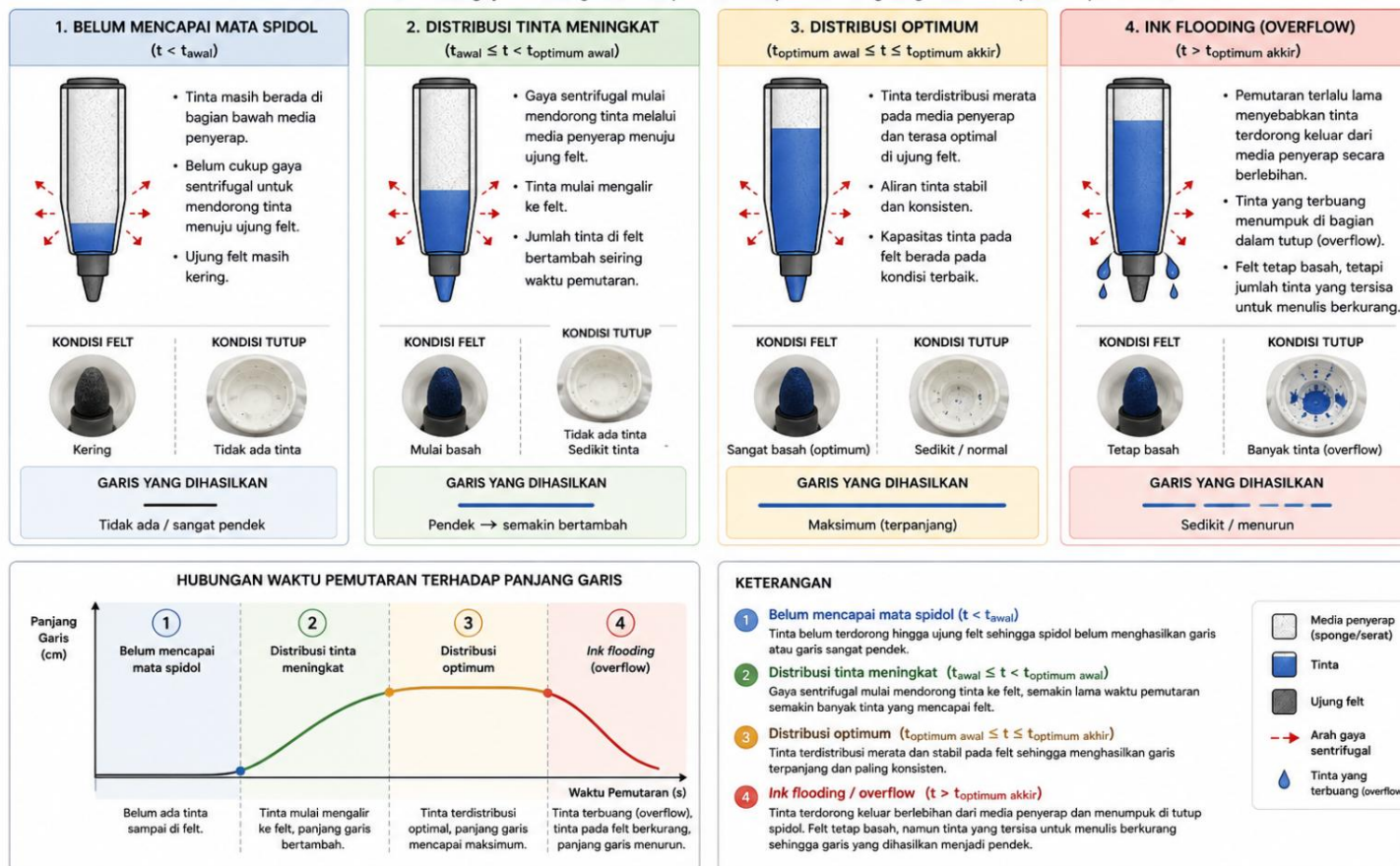
menyebabkan jumlah tinta yang tersisa pada media penyerap berkurang sehingga panjang garis yang dihasilkan kembali menurun.

Sementara itu, peningkatan volume tinta menyebabkan jumlah tinta yang tersedia di dalam media penyerap semakin besar sehingga distribusi tinta menuju ujung *felt tip* menjadi lebih optimal. Namun demikian, volume tinta yang besar tetap memerlukan waktu pemutaran yang sesuai agar tinta dapat dimanfaatkan secara efektif tanpa meningkatkan potensi terjadinya *ink flooding*.

Berdasarkan pola hasil pengujian, proses distribusi tinta dapat dibagi menjadi empat tahapan utama, yaitu tahap tinta belum mencapai mata spidol, tahap distribusi tinta meningkat, tahap distribusi optimum, dan tahap ink flooding. Ilustrasi keempat tahapan tersebut disajikan pada Gambar 4.7.

KARAKTERISTIK DISTRIBUSI TINTA PADA SPIDOL

Proses distribusi tinta akibat gaya sentrifugal selama pemutaran spidol berlangsung melalui empat tahapan utama.



Gambar 4. 7 Karakteristik Distribusi Tinta Pada Spidol

Pada tahap pertama, tinta yang berada di dalam media penyerap belum terdorong hingga mencapai ujung *felt*. Akibatnya, spidol belum mampu menghasilkan garis atau hanya menghasilkan garis yang sangat pendek. Kondisi ini terlihat pada pengujian *Speed 2* selama 5 detik dan *Speed 1* selama 142 detik, di mana panjang garis yang dihasilkan masih sebesar 0 cm.

Memasuki tahap kedua, gaya sentrifugal mulai mendorong tinta menuju ujung *felt* sehingga distribusi tinta meningkat secara bertahap. Pada tahap ini panjang garis mulai bertambah seiring bertambahnya waktu pemutaran. Hal tersebut terlihat pada pengujian *Speed 2* selama 15 detik yang menghasilkan panjang garis sekitar 700 cm, sedangkan pada *Speed 1* selama 172–202 detik panjang garis meningkat dari 200 cm menjadi 1700 cm.

Selanjutnya memasuki tahap distribusi optimum, tinta telah terdistribusi secara merata pada media penyerap dan ujung *felt* sehingga menghasilkan panjang garis maksimum. Pada kondisi ini aliran tinta menuju ujung spidol berlangsung stabil sehingga performa spidol berada pada kondisi terbaik. Berdasarkan hasil pengujian, kondisi optimum pada *Speed 2* diperoleh pada waktu pemutaran 25–55 detik dengan panjang garis sekitar 2700 cm, sedangkan pada *Speed 1* kondisi optimum diperoleh pada waktu pemutaran sekitar 240 detik dengan panjang garis sekitar 2400 cm.

Apabila waktu pemutaran terus ditambah melebihi kondisi optimum, maka proses distribusi tinta memasuki tahap ink flooding. Pada tahap ini tinta terdorong keluar dari media penyerap secara berlebihan sehingga sebagian tinta tidak lagi tersimpan pada ujung *felt*, melainkan terakumulasi pada bagian dalam tutup spidol.

Kondisi tersebut menyebabkan jumlah tinta yang tersedia pada *felt* berkurang sehingga panjang garis yang dihasilkan mengalami penurunan meskipun waktu pemutaran semakin lama.

Perubahan karakteristik distribusi tinta tersebut menunjukkan bahwa proses perpindahan tinta tidak hanya dipengaruhi oleh gaya sentrifugal, tetapi juga dipengaruhi oleh gaya kapiler pada media penyerap serta hambatan aliran di dalam struktur serat media penyerap. Interaksi ketiga mekanisme tersebut menyebabkan hubungan antara waktu pemutaran dan panjang garis membentuk pola meningkat–optimum–menurun, sebagaimana ditunjukkan pada hasil pengujian.

4.3.6 Analisis Fenomena Ink Flooding

Berdasarkan hasil pengujian variasi waktu pada *Speed 1* maupun *Speed 2*, diperoleh bahwa setelah waktu pemutaran mencapai kondisi optimum, penambahan durasi pemutaran justru menyebabkan panjang garis yang dihasilkan mengalami penurunan. Pada *Speed 1*, panjang garis maksimum diperoleh pada waktu 232 detik dengan rata-rata 2.700 cm, kemudian menurun menjadi 1.800 cm pada waktu 262 detik dan 866,7 cm pada waktu 292 detik. Sementara itu, pada *Speed 2* panjang garis maksimum diperoleh pada waktu 55 detik sebesar 3.500 cm, kemudian menurun menjadi 2.366,7 cm, 2.166,7 cm, 1.366,7 cm, hingga 666,7 cm pada waktu 175 detik.

Penurunan performa tersebut menunjukkan bahwa terdapat batas waktu pemutaran optimum pada masing-masing kecepatan putar. Setelah batas tersebut terlampaui, gaya sentrifugal yang bekerja secara terus-menerus tidak lagi meningkatkan distribusi tinta menuju ujung *felt tip*, melainkan menyebabkan sebagian tinta terdorong keluar dari media penyerap (*felt*) dan terakumulasi pada bagian dalam tutup spidol. Fenomena tersebut dikenal sebagai ink flooding.



Gambar 4. 8 Fenomena *Ink Flooding*

Pada penelitian ini, fenomena *ink flooding* tidak menyebabkan ujung *felt tip* menjadi sangat basah. Sebaliknya, tinta yang terdorong keluar dari media penyerap tidak seluruhnya dimanfaatkan untuk proses penulisan, melainkan menempel dan terkumpul pada bagian dalam tutup spidol. Akibatnya, jumlah tinta yang masih tersimpan di dalam media penyerap menjadi berkurang sehingga cadangan tinta yang dapat dialirkan menuju ujung *felt tip* saat digunakan untuk menulis juga semakin sedikit.

Kondisi tersebut menjelaskan mengapa penambahan waktu pemutaran setelah mencapai kondisi optimum justru menghasilkan panjang garis yang lebih pendek. Meskipun durasi pemutaran semakin lama, sebagian tinta telah hilang akibat terakumulasi di dalam tutup spidol sehingga tinta yang tersedia untuk proses penulisan semakin berkurang. Dengan demikian, peningkatan waktu pemutaran tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan performa spidol.

Fenomena ini juga menunjukkan bahwa proses distribusi tinta pada spidol dipengaruhi oleh keseimbangan antara gaya sentrifugal, kemampuan media penyerap dalam menahan tinta, dan kapasitas penyerapan *felt tip*. Apabila gaya sentrifugal bekerja dalam durasi yang sesuai, tinta akan terdistribusi secara optimal menuju ujung spidol sehingga menghasilkan garis yang panjang dan stabil. Namun, apabila gaya sentrifugal bekerja melebihi waktu optimum, tinta terdorong melampaui kapasitas media penyerap sehingga sebagian tinta keluar dan tidak lagi berkontribusi terhadap proses penulisan.

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa peningkatan kecepatan putar menyebabkan waktu optimum menjadi lebih singkat. Pada *Speed 1* (568,3 RPM) distribusi tinta optimum dicapai pada waktu 232 detik, sedangkan pada *Speed 2* (673,3 RPM) hanya membutuhkan waktu 55 detik. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar gaya sentrifugal yang dihasilkan, semakin cepat tinta berpindah menuju ujung *felt tip*. Akan tetapi, apabila proses pemutaran tetap dilanjutkan setelah kondisi optimum tercapai, fenomena *ink flooding* akan semakin cepat terjadi sehingga performa spidol kembali mengalami penurunan.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa fenomena ink flooding merupakan faktor utama yang membatasi waktu operasi optimum alat. Oleh karena itu, penggunaan alat tidak dianjurkan melebihi waktu optimum yang telah ditentukan, yaitu 232 detik pada *Speed 1* dan 55 detik pada *Speed 2*, agar distribusi tinta tetap optimal serta kehilangan tinta akibat *ink flooding* dapat diminimalkan.