

PENGARUH SUDUT LUBANG *BAFFLEDAN* JARAK TEMBAK NOSEL TERHADAP GAYA IMPAK UNTUK AKSELERASI PARTIKEL DNA PADA *GENE GUN*

INFLUENCE OF NOZZLE BAFFLE HOLES ANGLE AND SHOOTING DISTANCE TO IMPACT FORCE FOR DNA PARTICLE ACCELERATION IN GENE GUN

Danardono A.Sumarsono¹, M. Satrio Utomo¹, Sonia Tzarina GS¹, Fera Ibrahim^{2,3}, Budiman Bela^{2,3},
Silvia Triwidyaningtyas³

¹Departemen Teknik Mesin, FT - Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

²Departemen Mikrobiologi, FK - Universitas Indonesia, Salemba 10430, Indonesia

³Institute of Human Virology and Cancer Biology (IHVCB) - UI, Salemba 10430, Indonesia

Email : danardon@eng.ui.ac.id, m.satrio@ui.ac.id

ABSTRAK

Pengembangan *gene gun* sebagai instrumen untuk memasukkan materi vaksin ke dalam tubuh manusia melalui jaringan kulit (intradermal) memerlukan banyak penelitian di berbagai hal, salah satunya pada pengaplikasian teknologi nosel terhadap dampak yang ditimbulkan. Salah satu dampak tersebut adalah gaya impact yang muncul akibat adanya aliran fluida mampu-tekan berkecepatan tinggi. Pada aplikasi *gene gun*, nilai gaya impact tersebut harus diminimalkan karena dapat merusak jaringan target. Padahal, untuk dapat mencapai kedalaman penetrasi yang diperlukan, kecepatan aliran fluida pada *gene gun* harus bernilai seoptimal mungkin. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan desain nosel yang memiliki keluaran gaya impact terendah dengan mengetahui karakteristik nosel melalui pengaruh sudut lubang *baffledan* jarak tembak terhadap gaya impact. Variasi nosel yang diuji adalah nosel standar tanpa lubang *baffledan* nosel dengan sudut lubang *baffle* sebesar 30°, 90°, dan 150°. Keempat nosel tersebut diuji pada tiga jarak tembak, yaitu 0 mm, 10 mm, dan 20 mm. Pengujian secara eksperimen dilakukan dengan menggunakan instrumen *gene gun* model *desk* yang sudah dirancang sebelumnya. Pengambilan data dilakukan dengan menembakkan nosel ke neraca digital dan kemudian diambil nilai gaya impact puncak untuk tiap variasi penembakan. Hasil eksperimen dan analisa secara statistik menunjukkan pola yang menyatakan adanya hubungan antara variasi sudut lubang *baffledan* jarak tembak terhadap gaya impact yang ditimbulkan. Hasil tersebut diperkuat dengan adanya indikasi nilai jarak tembak optimal untuk menghasilkan nilai gaya impact terbesar pada tiap variasi nosel dan kecenderungan menurunnya gaya impact seiring dengan meningkatnya besar sudut lubang *baffle*. Adapun besar gaya impact terkecil dihasilkan oleh nosel dengan sudut lubang *baffle* 150° pada jarak tembak 0 mm. Metode simulasi komputasi dilakukan dengan menggunakan fasilitas *FlowSim* pada program *SolidWorks® 2012*. Dari simulasi yang dilakukan didapat hasil berupa profil kecepatan dan nilai dari beberapa parameter aliran di dalam nosel dan di lingkungan sekitar nosel sesuai dengan variasi jarak tembak. Dari hasil tersebut ditunjukkan bahwa nosel yang digunakan untuk aplikasi *gene gun* termasuk kategori nosel *supersonic*. Hal ini harus menjadi perhatian karena nosel supersonik memiliki desain khusus untuk menghasilkan pola aliran secara optimal berupa kontur *convergent-divergent* (C-D). Selain itu, aliran supersonik juga memberikan kecenderungan pada aliran untuk memiliki perilaku yang tidak dapat disamakan dengan aliran *subsonic* sehingga diperlukan teknik khusus untuk dapat melakukan kajian yang lebih mendalam terhadap aliran di dalam nosel untuk aplikasi *gene gun*.

Kata kunci : gaya impact, *gene gun*, jarak tembak, nosel, sudut lubang

Keywords : *gene gun*, *holes angle*, *impact force*, *nozzle*, *shooting distance*

Pendahuluan

Vaksinasi merupakan prinsip dasar dalam pencegahan penyakit menular dan berbahaya. Vaksinasi diperkenalkan pertama kali oleh Edward Jenner pada tahun 1796 untuk penyakit cacar. Vaksin sendiri, menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, didefinisikan sebagai bibit penyakit yang sudah dilemahkan yang digunakan untuk vaksinasi. Meskipun pada masa kini sudah dikembangkan berbagai macam vaksin, penyakit menular masih menjadi masalah utama global khususnya di negara-negara berkembang (Levine, MM. 2003)

Alasan pertama adalah fakta bahwa kebanyakan vaksin masih menggunakan instrumen jarum suntik sebagai sarana administrasinya. Di beberapa bagian negara berkembang, administrasi vaksin menggunakan jarum suntik berpotensi menimbulkan risiko yang cukup berbahaya. Tenaga kesehatan yang profesional diperlukan untuk menggunakan jarum suntik sebagai sarana administrasi vaksin maupun obat-obatan lainnya. Para tenaga medis memiliki risiko terluka karena tertusuk jarum suntik dan terinfeksi. Proses administrasi vaksin melalui jarum suntik juga dapat membahayakan sang pasien jika tidak dilakukan oleh orang yang profesional di bidangnya. Tidak menutup kemungkinan proses injeksi jarum suntik dilakukan di titik yang tidak sesuai sehingga proses pengobatan tidak berjalan efektif atau bahkan dapat menimbulkan malpraktik. Lebih dari itu, sifat dari jarum suntik yang harus steril dan sekali pakai menyebabkan masalah lain yaitu pada pengelolaan limbah jarum suntik yang jelas berbahaya baik dari segi fisiknya yang tajam maupun dari medis yang tidak steril dan berpotensi mengandung bibit penyakit (Kis dkk, 2011).

Alasan kedua adalah fakta bahwa selama ini vaksin selalu disimpan dalam bentuk cair (larutan). Hal ini dilakukan karena memang selama ini vaksin selalu dimasukkan ke dalam tubuh melalui instrumen jarum suntik. Di sisi lain, vaksin dalam bentuk larutan ini menimbulkan masalah dalam metode penyimpanannya. Vaksin dalam bentuk cairan harus disimpan dalam kondisi udara tertentu. Temperatur dan kelembapan udara harus dijaga agar vaksin tidak rusak. Beberapa instrumen kotak penyimpanan sudah dibuat dengan tujuan membuat tempat penyimpan vaksin yang praktis dan dapat diandalkan. Namun tetap saja, dengan adanya kendala ini vaksin-vaksin yang ada hanya memiliki jangka waktu penggunaan yang cukup pendek. Selain itu proses distribusi vaksin juga menjadi sangat tergantung terhadap keberadaan kotak penyimpanannya yang khusus.

Jaringan kulit kemudian menjadi sasaran menarik sebagai sarana administrasi vaksin karena diperkirakan lebih efektif dibandingkan melalui mulut

(oral) ataupun pembuluh darah (intravaskuler). Sel-sel imun tubuh seperti sel Langerhans di epidermis dan sel-sel dendritik di lapisan dermis dapat dengan mudah menerima dan mengolah antigen dari luar tubuh. Sel-sel imun tersebut dapat berpindah melalui jalur limfe dan kemudian menghasilkan sistem imun kepada sel-sel tubuh lain berdasarkan antigen yang diterima. Lebih dari itu, tidak terdapatnya sensor saraf-saraf penerima dan pembuluh darah pada jaringan epidermis memberikan kemungkinan pemberian vaksin tanpa menimbulkan rasa sakit maupun pendarahan. Pendek kata, rute administrasi vaksin melalui kulit (*intra dermal*) telah dinyatakan lebih efektif dengan memberikan respons imunitas tubuh yang lebih baik dibandingkan dengan pemberian vaksin melalui injeksi intramuskular dan memungkinkan penggunaan dosis antigen yang lebih sedikit. Oleh karena itu, beberapa instrumen dengan teknologi yang berbeda-beda dikembangkan untuk dapat memasukkan vaksin melalui jaringan kulit (Mehier-Humbert & Gay, 2004).

Di antara instrumen-instrumen tersebut, terdapat satu pengembangan yang didasarkan pada instrumen *gene gun*. Instrumen *gene gun* sendiri merupakan sebuah alat yang dikembangkan untuk memasukkan materi gen ke dalam jaringan tanaman. Untuk dapat digunakan sebagai sarana administrasi vaksin intradermal, pengembangan difokuskan pada perancangan bagian nosel. Hal ini dilakukan dengan tujuan meningkatkan kemampuan penetrasi dan mengurangi luas sebaran partikel sehingga proses penembakan dapat dilakukan terhadap luas target yang lebih kecil dengan kedalaman penetrasi yang lebih dalam. (O'Brien dkk, 2001). Adapun salah satu dampak yang tidak menguntungkan dari penggunaan *gene gun* adalah gaya impak akibat aliran udara berkecepatan tinggi yang dapat merusak jaringan target sehingga harus ditekan nilainya serendah mungkin.

Metode Eksperimen & Fasilitas yang Digunakan

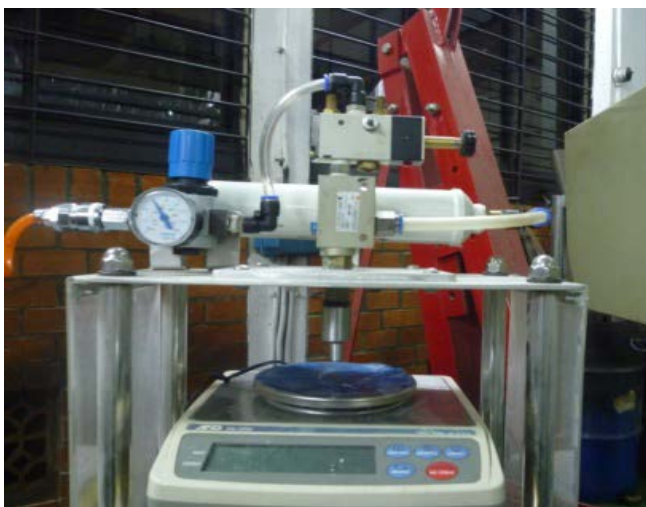
Pada penelitian kali ini, akan diuji empat buah nosel berupa satu nosel standar tanpa lubang *baffle* dan tiga nosel dengan variasi sudut lubang *baffle* sebesar 30°, 90°, dan 150° terhadap sumbu utama nosel. Angka tersebut digunakan karena sudut lubang *baffle* sebesar 30° diperkirakan menghasilkan gaya impak paling kecil dibandingkan dengan besar sudut yang lain (O'Brien, 2007). Kemudian nosel dengan sudut lubang *baffle* sebesar 150° digunakan sebagai sudut dengan besar 30° namun berkebalikan arah sedangkan sudut *baffle* sebesar 90° digunakan dengan alasan kemampuan produksi yang lebih mudah dibandingkan sudut lubang *baffle* lainnya sehingga dapat menjadi nilai tambah pada aspek tertentu. Tiap

variasi nosel tersebut diuji dengan tiga variasi jarak tembak terhadap permukaan sasaran, yaitu 0 mm (tanpa jarak), 10 mm, dan 20 mm.



Gambar 1. Noselgene guncang diuji

Pengujian dilakukan dengan menggunakan serangkaian instrumen yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi sudut lubang *baffle* dan jarak tembak terhadap gaya impact nosel. Adapun rangkaian instrumen tersebut secara garis besar merupakan instrumengene gun model desk/stationerybeserta sumber udara bertekanan yang dilengkapi dengan neraca digital dan seperangkat alat perekam gambar (kamera digital).



Gambar 2. Skema pengujian

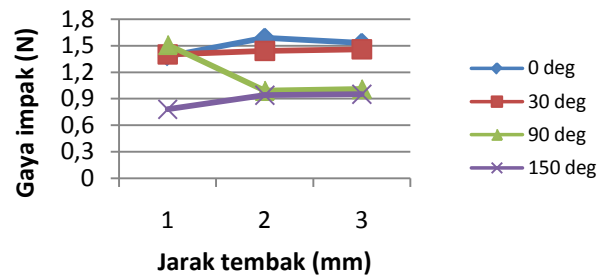
Setiap set pengambilan data dilakukan dengan melakukan 30 kali penembakan. Setiap penembakan dilakukan dengan membuka katup pneumatik selama satu detik. Hasil dari pengujian disajikan dalam grafik yang menyatakan besar massa impact pada tiap penembakan dari masing-masing variasi nosel terhadap jarak tembak tertentu. Kemudian, grafik yang menyatakan besar massa impact pada tiap trial penembakan dari masing-masing variasi jarak tembak terhadap nosel dengan sudut lubang *baffle* tertentu juga disajikan.

Simulasi secara komputasi dilakukan dengan tujuan mendapatkan data sekunder berupa profil aliran fluida di dalam nosel yang tidak dapat

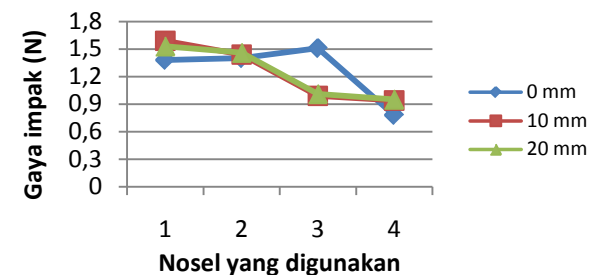
diperoleh melalui pengujian secara eksperimental. Pengujian CFD dilakukan dengan menggunakan piranti *Flow Simulation* pada program *SolidWorks® 2012*. Hasil dari simulasi tersebut dapat digunakan sebagai bahan kajian tambahan untuk membantu menjelaskan fenomena yang terjadi pada hasil pengujian secara eksperimental.

Hasil dan Pembahasan

1. Hasil pengujian eksperimental



Gambar 3. Besar gaya impact rata-rata terhadap variasi sudut lubang *baffle*.



Gambar 4. Besar massa impact rata-rata terhadap variasi jarak tembak.

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa pola massa impact untuk setiap variasi nosel menunjukkan kecenderungan bentuk yang sama. Pola yang dihasilkan oleh variasi sudut lubang *baffle* nosel pada tiap variasi jarak tembak menunjukkan hubungan bahwa jarak tembak memiliki pengaruh terhadap besar gaya impact di setiap variasi nosel. Pola yang terjadi adalah bahwa gaya impact cenderung naik seiring dengan kenaikan jarak tembak sampai kemudian turun kembali setelah mencapai jarak tembak optimalnya. Besar jarak tembak mempengaruhi kondisi aliran udara keluar nosel dengan memberikan kesempatan untuk aliran berkembang secara penuh. Jarak tembak 0 mm atau tanpa jarak tidak memberikan kesempatan aliran udara yang keluar dari nosel untuk berekspansi dan berkembang serta cenderung menutup laju aliran udara keluar ke lingkungan. Sedangkan jarak tembak 10 mm memberikan kesempatan untuk aliran udara keluar melalui celah yang ada sehingga aliran udara

yang terjadi dapat mengalir dengan baik. Namun, bukan berarti semakin besar jarak tembak maka gaya impact akan semakin besar, pada jarak tembak 20 mm mulai terjadi penurunan laju peningkatan kecepatan atau bahkan penurunan laju aliran yang mengindikasikan bahwa terdapat jarak tembak yang optimal dari tiap variasi nosel untuk menghasilkan gaya impact maksimal.

Adapun pola paling berbeda ditunjukkan oleh nosel dengan sudut lubang keluar samping 90°. Titik yang menjadi anomali pada pola nosel dengan sudut lubang *baffle* 90° adalah pada jarak penembakan 0 mm. Tidak seperti nosel-nosel lain yang cenderung memiliki nilai massa impact paling rendah pada jarak tembak 0 mm dan kemudian naik seiring dengan pertambahan jarak tembak, pada nosel dengan sudut lubang keluar samping 90°, besar massa impact terbesar didapat pada jarak tembak 0 mm dan kemudian menurun seiring pertambahan jarak tembak. Penelitian lebih lanjut diperlukan agar fenomena ini dapat diketahui penyebabnya.

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa pola massa impact puncak untuk jarak tembak 10 mm dan 20 mm menunjukkan kesamaan bentuk. Kecenderungan dari kedua pola tersebut adalah semakin besar sudut lubang keluar samping nosel maka semakin rendah pula massa impact yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan prinsip bahwa lubang keluar dengan sudut yang semakin besar akan mengarahkan aliran udara semakin menjauhi permukaan target sehingga massa impact yang dihasilkan pun semakin rendah.

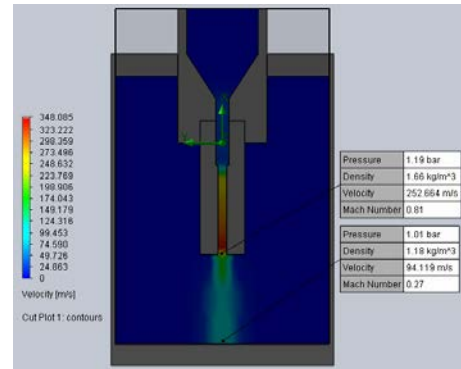
Pola paling mencolok dihasilkan oleh massa impact puncak untuk jarak tembak 0 mm. Keanean terjadi pada titik jarak tembak 0 mm terhadap nosel dengan sudut lubang keluar samping sebesar 90°. Hal ini sebenarnya mengindikasikan bahwa pembuatan lubang keluar samping sebesar 90° dapat memperbaiki kecenderungan rendahnya massa impact pada jarak tembak 0 mm. Hal tersebut kemudian dapat digunakan untuk aplikasi lain yang membutuhkan nilai massa impact tinggi pada jarak tembak 0 mm. Meskipun demikian, secara umum dapat dianggap bahwa ketiga jarak tembak memberikan pola yang sama, yaitu semakin besar sudut lubang *baffle* maka semakin rendah massa impact yang dihasilkan.

2. Hasil Pengujian Simulasi Komputasi

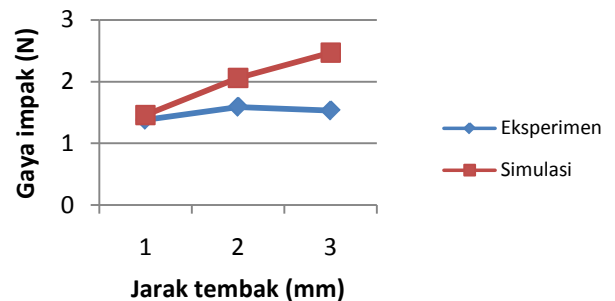
2.1 Nosel standar tanpa lubang *baffle*

Untuk nosel standar tanpa lubang, pengambilan data besar parameter dilakukan di empat titik. Titik pertama berada di sisi masuk nosel sebagai data masuk aliran masuk nosel. Titik kedua berada di saluran yang mengalami penyempitan (*throat*) pada komponen adaptor nosel. Titik ini menjadi penting

karena pada lokasi ini tube akan diletakkan dan diasumsikan menjadi titik awal aliran fluida akan mengalami kontak dengan partikel.



Gambar 5. Hasil CFD nosel standar



Gambar 6. Perbandingan gaya impact eksperimen dan simulasi untuk nosel standar

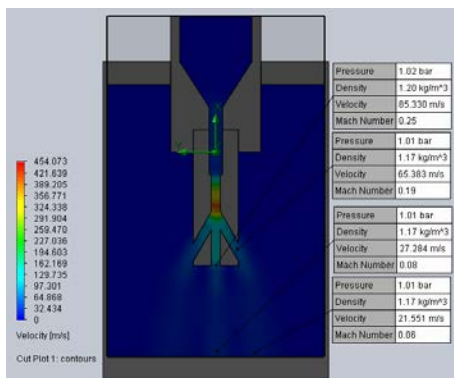
Kemudian titik ketiga terletak pada penyempitan saluran (*throat*) pada bagian nosel utama. Penyempitan ini dirancang sebagai penahan agar *tube* tidak ikut tertembak keluar saat penembakan dilakukan dan menjadi penting karena merupakan penyempitan luas penampang yang dapat mempengaruhi aliran. Titik terakhir atau titik keempat terletak di ujung lubang keluar utama nosel yang menjadi penting karena merupakan titik aliran yang menentukan kondisi aliran sesaat sebelum keluar dari nosel ke lingkungan luar.

Hasil pada nosel standar tanpa lubang keluar samping menunjukkan bahwa aliran udara yang melewati nosel termasuk aliran supersonik karena besar nilai kecepatan pada satu dari empat titik, tepatnya titik 4, yang diambil menunjukkan angka yang lebih besar dari kecepatan suara dan didukung dengan bilangan Mach sebesar 1,18. Hal ini harus menjadi perhatian karena perilaku yang ditunjukkan oleh aliran supersonik dapat berlainan atau bertentangan sama sekali dengan aliran fluida subsonik yang biasa dibahas pada permasalahan pada aliran fluida.

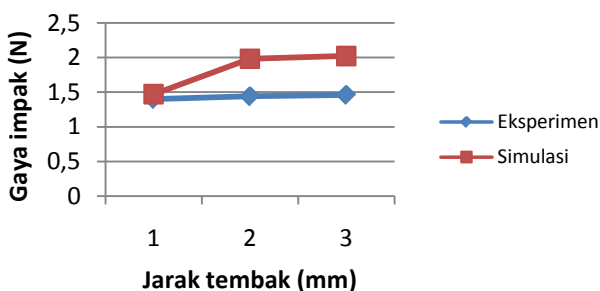
2.2 Nosel dengan sudut lubang *baffle* 30°

Pada nosel dengan sudut lubang keluar samping 30° dan selanjutnya, banyaknya titik yang diambil besar parameternya menjadi 6 titik. Titik 1 sampai 4 memiliki posisi yang sama dengan nosel standar tanpa lubang. Sedangkan dua titik tambahan, yaitu titik 5 dan titik 6 digunakan untuk secara khusus mempelajari pengaruh sudut lubang keluar samping terhadap profil aliran udara di dalam nosel. Titik 5 terletak pada titik percabangan antara lubang keluar utama nosel dengan keempat lubang keluar samping. Kemudian titik 6 terletak pada titik yang berada di ujung lubang keluar samping nosel. Dengan asumsi bahwa aliran akan bersifat axi-simetris maka titik 6 dianggap mewakili kondisi di tiap lubang keluar samping.

Pada pengujian secara eksperimental, nosel dengan sudut lubang keluar samping sekitar 30° menghasilkan gaya impact yang cukup seragam di tiap variasi ketinggian. Hal tersebut dapat dijelaskan melalui fenomena yang dapat dilihat melalui hasil simulasi. Dari hasil simulasi, dapat dilihat bahwa besar kecepatan aliran yang melalui lubang samping memiliki besar yang ternyata lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan aliran yang keluar melalui lubang keluar utama. Hal ini menjadi unik karena lazimnya, aliran cenderung mengalir secara dominan melalui lubang keluar utama nosel yang lurus dibandingkan ke arah lubang keluar samping. Fenomena ini dapat terjadi akibat aliran udara di dalam nosel yang bersifat supersonik sehingga aliran cenderung akan melakukan ekspansi ke luar.



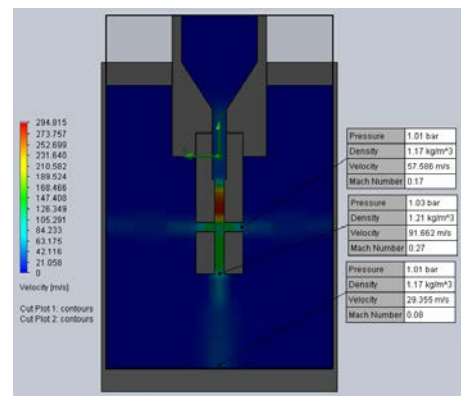
Gambar 7. Hasil CFD nosel dengan sudut lubang baffle 30°



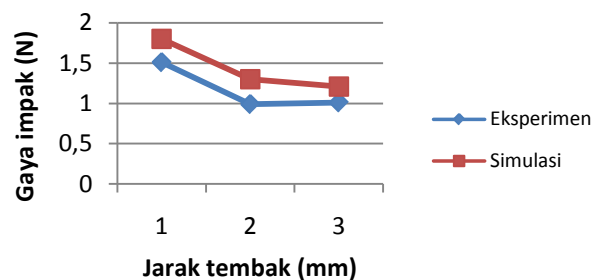
Gambar 8. Perbandingan gaya impact eksperimen dan simulasi untuk nosel dengan sudut lubang baffle 30°

2.3 Nosel dengan sudut lubang baffle 90°

Hasil simulasi CFD untuk nosel dengan sudut lubang keluar samping 90° menunjukkan pola yang tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi CFD untuk nosel dengan sudut lubang keluar samping 30°. Hanya saja, kali ini besar kecepatan aliran di lubang keluar utama nosel lebih besar dibandingkan dengan aliran udara di lubang keluar samping nosel. Hal tersebut disebabkan oleh lubang dengan sudut 90° memiliki sudut yang tegak lurus terhadap arah aliran dan kecenderungan aliran untuk mengalir searah sumbu utama lebih besar. Walaupun begitu, efek dari keberadaan lubang samping yang memberikan kesempatan untuk aliran berkembang secara penuh menimbulkan fenomena *shockwave* yang membuat aliran berekspansi ke sisi samping.



Gambar 9. Hasil CFD nosel dengan sudut lubang baffle 90°

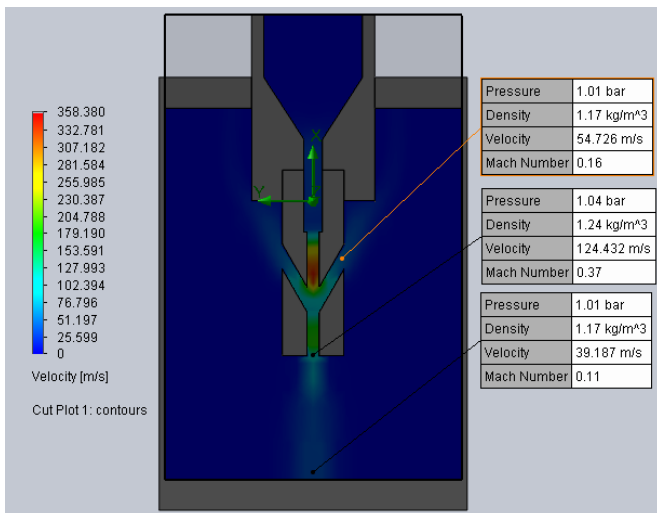


Gambar 10. Perbandingan gaya impact eksperimen dan simulasi untuk nosel dengan sudut lubang baffle 90°

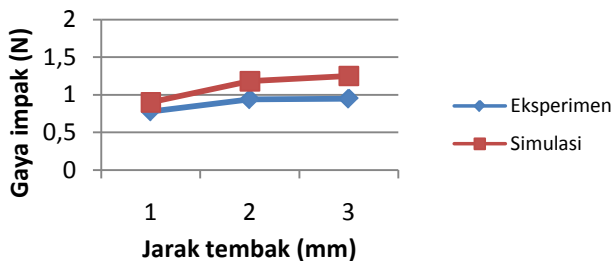
Dari Gambar 9, secara detail dapat dilihat bahwa pada area sekitar percabangan antara lubang keluar utama dengan lubang keluar samping, terjadi pembentukan aliran yang mengikuti suatu bentuk shockwave. Perubahan parameter aliran yang drastis pada area tersebut juga menandakan bahwa shockwave berkembang secara penuh di area tersebut. Walaupun terjadi ekspansi aliran, namun di dalam lubang keluar samping, aliran tidak berkembang secara simetris.

2.4 Nosel dengan sudut lubang *baffle* 150°

Nosel dengan sudut lubang keluar samping 150° memiliki karakter yang berbeda dibandingkan dengan ketiga nosel yang lain. Lubang dengan sudut 150° mengarah berlawanan terhadap arah aliran utama dan berlawanan dengan gravitasi sehingga aliran udara yang melewati lubang samping tersebut akan bersifat minimal.



Gambar 11. Hasil CFD nosel dengan sudut lubang *baffle* 150°



Gambar 12. Perbandingan gaya impact eksperimen dan simulasi untuk nosel dengan sudut lubang *baffle* 150°

Berdasarkan hasil simulasi CFD yang dapat dilihat pada gambar 11, dapat dilihat bahwa aliran udara yang melalui titik 6 yang terletak pada ujung lubang keluar samping memiliki nilai yang jauh lebih

kecil dibandingkan dengan lubang keluar utama nosel. Dibandingkan dengan nosel berlubang samping yang lain pun, nosel dengan sudut lubang samping 150° memiliki kecepatan aliran melalui lubang samping yang paling kecil. Namun hal tersebut bukan berarti tidak menimbulkan efek apapun. Sudut yang berlawanan arah dengan arah aliran utama fluida memberikan nosel ini kemampuan untuk meminimalkan gaya impact dengan memberikan nosel kemampuan untuk memberikan gaya reaksi terhadap gaya impact. Hal ini kemudian ditunjukkan melalui hasil pengujian eksperimen yang menyatakan bahwa nosel dengan sudut lubang keluar samping sebesar 150° menghasilkan nilai gaya impact paling rendah tanpa harus mengurangi kecepatan aliran keluar nosel.

Pengujian secara simulasi komputasi dilakukan untuk mendapatkan data sekunder yang dapat membantu menjelaskan keterhubungan antara sudut lubang *baffle* dan jarak tembak terhadap besar gaya impact nosel. Dari hasil pengujian diketahui bahwa aliran supersonik terjadi di semua variasi nosel. Untuk nosel dengan lubang *baffle*, kecepatan aliran tertinggi atau dengan kata lain bilangan Mach tertinggi selalu terletak pada titik percabangan lubang *baffle*. Hal ini dapat terjadi karena prinsip aliran supersonik yang akan meningkat kecepatannya saat luas penampang bertambah. Di titik ini pula juga terjadi wave yang diakibatkan oleh transisi dari aliran supersonik menjadi aliran subsonik. Hubungan antara sudut lubang *baffle* dengan perubahan sifat aliran di dalam nosel memerlukan kajian lebih lanjut.

Variasi nosel [mm]	Eksperimen (N)	Simulasi (N)	Besar error
Standar – 0 mm	1,38	1,46	5,8
Standar – 10 mm	1,59	2,06	22,8
Standar – 20 mm	1,53	2,47	38
30° – 0 mm	1,40	1,47	5
30° – 10 mm	1,44	1,98	27,3
30° – 20mm	1,46	2,02	27,8
90° – 0 mm	1,51	1,8	16,7
90° – 10 mm	0,99	1,3	23,8
90° – 20mm	1,01	1,21	16,5
150° – 0 mm	0,78	0,9	15
150° – 10 mm	0,94	1,18	25,5
150° – 20mm	0,95	1,25	31,5

Tabel 1. Hasil gaya impact dari kedua metode dan besar error

Dari tabel 1, dapat dilihat besar error yang didapat dari perbandingan antara besar nilai gaya impact yang didapat langsung dari pengujian secara eksperimen dengan besar nilai gaya impact yang didapat dari parameter-parameter hasil pengujian simulasi komputasi. Besar error berkisar antara 5 % sampai dengan 38 %. Hal tersebut mengindikasikan bahwa hasil berupa besar nilai gaya impact yang didapat melalui eksperimen dengan simulasi komputasi belum dapat dianggap memiliki keterhubungan yang erat. Kesimpulan tersebut dapat diambil mengingat banyaknya asumsi-asumsi ideal yang digunakan pada pengujian secara simulasi komputasi. Kontrol volume yang terlibat di dalam simulasi komputasi hanyalah pada bagian adaptor nosel beserta noselnya saja, tidak mencakup komponen-komponen pneumatik lain yang jelas-jelas memberikan rugi tekanan dan kecepatan. Selain itu, fluida kerja berupa udara yang digunakan pada pengujian simulasi komputasi merupakan fluida ideal yang tentu tidak bisa didapat secara sempurna pada pengujian secara eksperimental. Proses pengerjaan adaptor nosel dan nosel-nosel yang terlibat di dalam pengujian tentu tidak dapat dianggap ideal dan sama persis dengan desain nosel yang diuji secara simulasi komputasi. Toleransi-toleransi yang ada kemudian mengubah beberapa dimensi yang ada dan tingkat kekasaran permukaan juga menjadi faktor penting yang menyebabkan adanya perbedaan hasil gaya impact antar kedua metode. Walaupun begitu, kedua metode memberikan informasi yang sama bahwa nosel dengan sudut lubang *baffle* 150° dengan jarak tembak 0 mm memberikan nilai gaya impact terendah yang kemudian dapat digunakan sebagai nosel *gene gun*.

Kesimpulan

Penelitian untuk mengetahui pengaruh sudut lubang *baffle* dan jarak tembak nosel terhadap gaya impact untuk akselerasi partikel DNA pada *gene gun* telah dilakukan melalui pengujian eksperimen dan simulasi komputasi. Pengujian dilakukan terhadap nosel yang merupakan purwarupa nosel *gene gun* menggunakan *gene gun desk model* sebagai instrumen pengujian.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa variasi sudut lubang *baffle* dan jarak tembak pada nosel memberikan besar gaya impact yang juga bervariasi. Melalui grafik hasil eksperimen dan metode statistik, dipastikan bahwa variabel-variabel ini memiliki keterhubungan antara satu dengan yang lain. Pola hubungan antara variasi sudut lubang keluar samping dengan gaya impact menunjukkan adanya suatu jarak tembak optimal untuk setiap sudut lubang *baffle* yang

dapat digunakan untuk menghasilkan gaya impact dengan besar maksimum. Sedangkan pola hubungan antara variasi jarak tembak dengan gaya impact menunjukkan kecenderungan bahwa semakin besar sudut lubang keluar samping maka semakin rendah nilai gaya impact yang dihasilkan. Walaupun begitu, kepastian hubungan antara variabel-variabel tersebut untuk segala macam kondisi belum dapat ditentukan secara lebih jauh karena hubungan antara kedua parameter ini dipengaruhi oleh banyak faktor seperti kecepatan aliran yang dapat bersifat subsonik atau supersonik. Adapun hasil gaya impact paling rendah dengan besar 0,78 N dihasilkan oleh kombinasi variasi nosel dengan sudut lubang *baffle* 150° dengan jarak tembak 0 mm.

Untuk membantu mempelajari pengaruh sudut lubang *baffle* dan jarak tembak terhadap gaya impact, juga dilakukan pengujian secara simulasi menggunakan teknik CFD. Hasil dari simulasi memberikan studi awal yang kemudian digunakan untuk mempelajari fenomena-fenomena akibat aliran supersonik di dalam nosel yang memberikan pengaruh signifikan terhadap hasil pengujian eksperimental. Pada akhirnya, berdasarkan kedua metode tersebut, diputuskan bahwa variasi nosel yang paling tepat untuk dijadikan nosel *gene gun* adalah nosel dengan sudut lubang *baffle* 150° dengan jarak tembak 0 mm.

Ucapan Terima Kasih

Kegiatan riset ini adalah bagian dan didanai dari Hibah Insentif Riset Strategis Kementerian Ristek 2011-12. Ucapan terima kasih disampaikan kepada pimpinan Departemen Teknik Mesin FTUI, Departemen Mikrobiologi FKUI, dan *Institute Human Virology and Cancer Biology* UI, serta semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung sudah mendukung hasil riset ini.

Referensi

- Anderson, John D. *Fundamentals of Aerodynamics*. (2001). Singapore: McGraw-Hill
- Anderson, John D. *Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications*. (1995). Singapore: McGraw-Hill.
- Auewarakul P. dkk. *Antibody Responses after Dose-sparing Intradermal Influenza Vaccination*. 2007.
- Harinaldi. *Prinsip-prinsip Statistik untuk Teknik dan Sains*. (2005). Jakarta: Erlangga.
- Kamus Besar Bahasa Indonesia
- Kendall, Mark. *Engineering of Needle-free Physical Methods to Target Epidermal Cells for DNA Vaccination*. (2005)

- Kis, Elsa E. dkk. *Devices for Intradermal Vaccination*. (2011)
- Kumar, K. L. *Engineering Fluid Mechanics*. (1976). New Delhi: Eurasia Publishing House.
- Levine, MM. *Can Needle-free Administration of Vaccines become the Norm in Global Immunization?*(2003)
- Liu, Yi. *Physical-Mathematical Modelling of Fluid and Particle Transportation for DNA Vaccination*. (2006)
- Liu, Yi. *Utilization of the Venturi Effect to Introduce Micro-particles for Epidermal Vaccination*. (2006)
- Liu, Yi dkk. *Swirling Effects on Performance of the Micro-particle Acceleration and Penetration: Parametric Studies*.(2007)
- Mattson, John E. *An Introduction to Solidworks® Flow Simulation*(2011). (2011). New York: SDC.
- Medical Research Council. *Gene guns: How one researcher improved his shot*. 17 Januari 2007
- Mehier-Humbert, Sophie dan Richard H. Guy. *Physical Methods for Gene Transfer: Improving the Kinetic of Gene Delivery into Cells*. (2004).
- Mitchell, Thomas J. dkk. *A Ballistic Study of Micro-particle Penetration to the Oral Mucosa*. (2002)
- Mitragotri, S. *Immunization without Needles*. (2005).
- Munson, Bruce R. dkk. *Mekanika Fluida, Edisi Keempat Jilid 1*. (2005). Jakarta: Erlangga.
- Munson, Bruce R. dkk. *Mekanika Fluida, Edisi Keempat Jilid 2*. (2005). Jakarta: Erlangga.
- Nakayama, Yasuki. *Introduction to Fluid Mechanics*. New York: John Wiley and Sons.
- O'Brien, John A. dkk. *Modifications to the Hand-held Gene Gun: Improvement for in-vitro Biolistic Transfection of Organotypic Neuronal Tissue*. (2001)
- SolidWorks Flow Simulation (2011). Technical Reference
- Soliman, S.W. dan S. Abdallah. *CFD Investigation of Powdered Vaccine and Gas Dynamics in Biolistic Gun*. (2011)
- Soliman, S.W. dkk. *Numerical Simulation of Microparticles Penetration and Gas Dynamic in an Axi-Symmetric Supersonic Nozzle for Genetic Vaccination*. (2011)
- United States Patent. US 6668699. Ronnie David Russell. Porous Nozzle Projectile Barrel. 30 Desember 2003.
- United States Patent Application Publication. US 2004/0033589. John Anthony O'Brien. Biolistic Device. 19 Februari 2004.
- Versteeg, H. K. dan W. Malalasekera. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*. 1995. England: Longman.
- WHO. *Safety of Injections: Global Facts and Figures*. Geneva. (2004).
- Yahya, S.M. *Fundamentals of Compressible Flow*. (1982). New York: John Wiley and Sons.