

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil

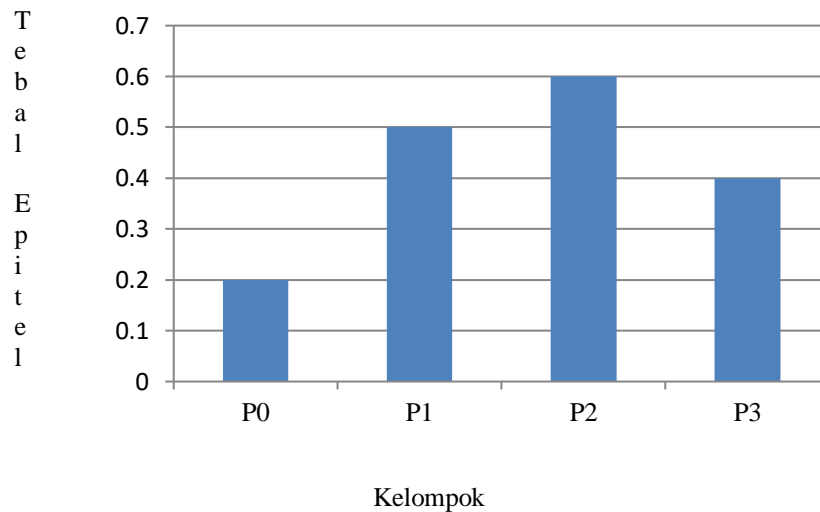
Hasil pengamatan histologi bronkus mencit jantan galur *Swiss webster* yang diberi pemaparan pengharum ruangan cair terlihat adanya penebalan epitel bronkus yang ditandai dengan terdapatnya ketebalan epitel pelapis pada bronkus. Jaringan epitel (*epithelium*) disusun oleh sel-sel sejenis yang menutupi permukaan luar dan dalam organ tubuh yang berbentuk saluran (*tubulus*) maupun rongga (*cavum*). Jaringan epitel merupakan suatu lapisan yang sangat rapat susunan sel-selnya. Epitel pelapis yaitu epitelium superfisial yang bersifat membran atau lembaran/lapisan. Jenis epitel terdapat dalam pengamatan ini adalah epitel kolumnar berlapis bersilia. Ketebalan epitel bronkus pada setiap masing-masing perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1 Ketebalan Epitel Pelapis pada Bronkus Mencit**

Kelompok	Tebal Epitel Pelapis (mm)			Rata-Rata
	I	II	III	
Kontrol (K)	0,20	0,24	0,16	0,20
Perlakuan Satu (P1)	0,56	0,65	0,43	0,54
Perlakuan Dua (P2)	0,57	0,73	0,78	0,69
Perlakuan Tiga (P3)	0,26	0,61	0,62	0,49

Tabel 4.1 memperlihatkan bahwa ketebalan epitel pelapis pada bronkus yang paling tipis pada kelompok kontrol, sedangkan kelompok perlakuan 2 (P2) memiliki ketebalan epitel yang paling tebal. Ini membuktikan bahwa paparan

pengharum ruangan cair dengan dosis 3 ml selama 4 minggu mempunyai pengaruh terhadap epitel bronkus. Pada kelompok perlakuan satu (P1) dan perlakuan tiga (P3) mempunyai ketebalan epitel bronkus lebih tebal dibandingkan dengan kelompok kontrol, ini membuktikan pengharum ruangan dengan dosis 3 ml selama 2 minggu dan 6 minggu juga berpengaruh terhadap epitel bronkus.



Gambar 4.1 Grafik Ketebalan Epitel Pelapis pada Bronkus Mencit (Sumber: Warobi, 2020)

**Tabel 4.2 Uji Normalitas Menggunakan Analisis Deskriptif**  
**Descriptives**

Tebal Epitel Pelapis

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
P0	3	.2000	.04000	.02309	.1006	.2994	.16	.24
P1	3	.5467	.11060	.06386	.2719	.8214	.43	.65
P2	3	.6933	.10970	.06333	.4208	.9658	.57	.78
P3	3	.4967	.20502	.11837	-.0126	1.0060	.26	.62
Total	12	.4842	.21773	.06285	.3458	.6225	.16	.78

**Tabel 4.3 Uji Homogenitas**  
**Test of Homogeneity of Variances**

Tebal Epitel Pelapis

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.407	3	8	.074

(Sumber: Warobi, 2020)

Berdasarkan uji normalitas dan uji homogenitas pada Tabel 4.2 dan 4.3 terbukti bahwa data berdistribusi normal dan homogen (nilai sig > 0,05). Kemudian dilanjutkan dengan uji *One Way Anova*.

**Tabel 4.4 Hasil Analisis Anova Menunjukkan Epitel Bronkus Mengalami Penebalan**  
**ANOVA**

Tebal Epitel Pelapis

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.386	3	.129	7.574	.010
Within Groups	.136	8	.017		
Total	.521	11			

(Sumber: Warobi, 2020)

Berdasarkan analisis data pada Tabel 4.4 diketahui pengharum ruangan cair berpengaruh terhadap penebalan epitel pada bronkus ( $P= 0,010 < 0,05$ ), maka  $H_a$  diterima dan  $H_o$  ditolak. Hal ini bermakna bahwa pengharum ruangan cair dapat mempengaruhi bronkus. Oleh karena itu, dilakukan uji lanjut untuk melihat pengaruh antarperlakuan yaitu dengan melakukan uji Post Hoc Tukey. Hasil uji Tukey dapat dilihat pada tabel 4.5. Dari hasil uji statistik Anova mengenai ketebalan epitel pelapis pada bronkus terdapat perbedaan yang bermakna antara kelompok kontrol dengan kelompok perlakuan 1, 2, dan 3.

**Tabel 4.5 Uji Lanjut Post Hoc Tukey**

**Multiple Comparisons**

Tebal Epitel Pelapis

Tukey HSD

(I) Perlaku an	(J) Perlaku an	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
P0	P1	-.34667*	.10638	.046	-.6873	-.0060
	P2	-.49333*	.10638	.007	-.8340	-.1527
	P3	-.29667	.10638	.090	-.6373	.0440
P1	P0	.34667*	.10638	.046	.0060	.6873
	P2	-.14667	.10638	.544	-.4873	.1940
	P3	.05000	.10638	.964	-.2907	.3907
P2	P0	.49333*	.10638	.007	.1527	.8340
	P1	.14667	.10638	.544	-.1940	.4873
	P3	.19667	.10638	.320	-.1440	.5373
P3	P0	.29667	.10638	.090	-.0440	.6373
	P1	-.05000	.10638	.964	-.3907	.2907
	P2	-.19667	.10638	.320	-.5373	.1440

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

(Sumber: Warobi, 2020)

**Tebal Epitel Pelapis**

Tukey HSD

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
P0	3	.2000	
P3	3	.4967	.4967
P1	3		.5467
P2	3		.6933
Sig.		.090	.320

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Hasil uji Tukey pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa setiap kelompok perlakuan menyebabkan bronkus mengalami penebalan epitel berbeda-beda sesuai dengan lamanya waktu pemaparan pengharum ruangan cair yang diberikan pada mencit. Berdasarkan hasil uji lanjut 0,05 diketahui bahwa pada setiap perlakuan berpengaruh terhadap penebalan epitel bronkus.

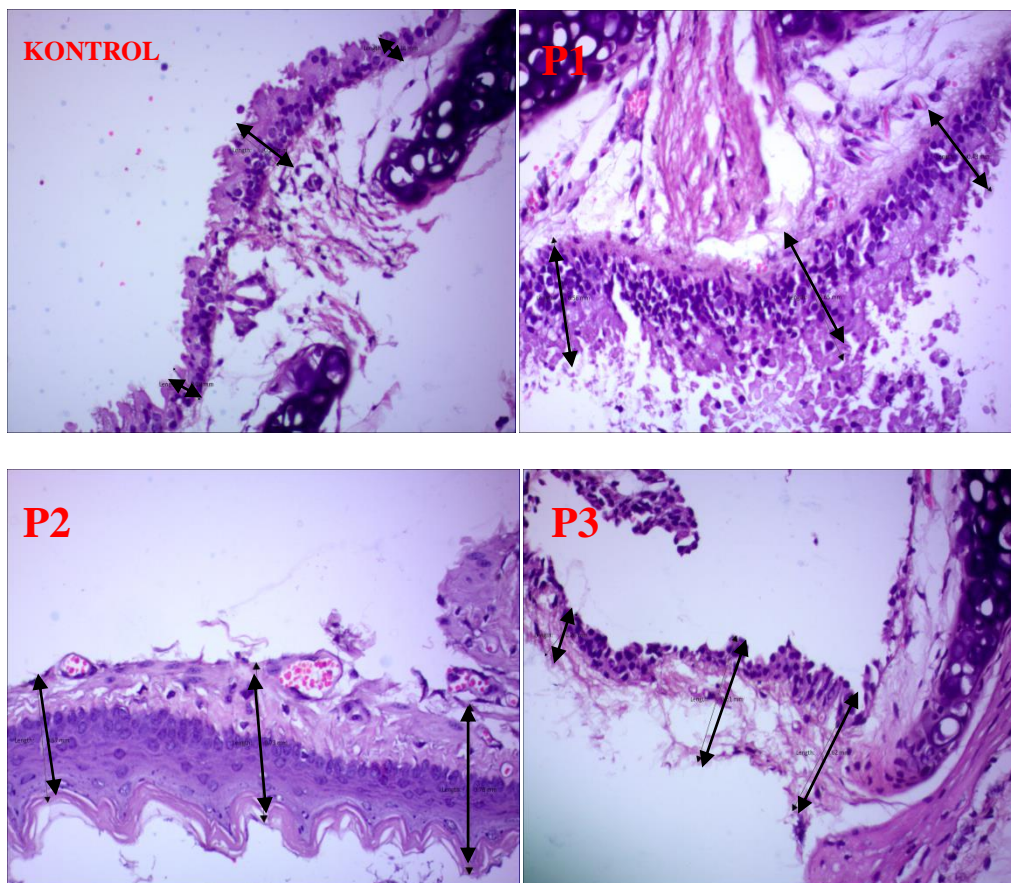
Adapun nilai validitas modul pembelajaran yang telah divalidasi oleh dosen ahli dan guru dapat dilihat pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6 Nilai Rata-Rata Validitas Modul Pembelajaran**

No.	Aspek yang diamati	Dosen ahli		Guru	
		Nilai (%)	Keterangan	Nilai (%)	Keterangan
1	Penggunaan bahasa	100	Sangat valid	100	Sangat valid
2	Isi dan konsep materi	82,14	Sangat valid	96	Sangat valid
3	Tampilan media	82,14	Sangat valid	96	Sangat valid

## B. Pembahasan

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil penelitian yang telah dihitung dengan uji One Way anova dan Uji Lanjut post hoc tukey membuktikan adanya pengaruh paparan pengharum ruangan cair terhadap gambaran histologi bronkus mencit. Perubahan yang terjadi dapat dilihat pada tabel 4.4, apabila nilai signifikasinya  $< 0,05$ , maka pengharum ruangan cair memiliki pengaruh terhadap histologi bronkus. Jenis epitel pada bronkus tersebut adalah epitel kolumnar berlapis bersilia. Secara histologi pada penampang melintang bentuk selnya silindris, berdiri pada membrana basal, dan mempunyai tinggi yang melebihi ukuran lebarnya. Epitel kolumnar berlapis mempunyai struktur yang terdiri atas beberapa lapis sel, sel-sel kolumnar hanya pada lapisan permukaan.



Gambar 4.2 Gambaran Histologi Epitel Pelapis pada Bronkus yang Mengalami Penebalan Pasca Paparan Pengharum Ruangan Cair dengan Pewarnaan HE Perbesaran 100x dan 400x (Sumber, Warobi, 2020)

Pengharum ruangan cair umumnya mengandung zat kimia. Zat kimia dapat terhirup melalui hidung, trakea dan selanjutnya ke bronkus. Bronkus terletak di pertengahan dari saluran napas sehingga absorpsinya belum sempurna seperti paru, tetapi absorpsinya lebih baik dari trakea sehingga reaksinya terhadap benda asing lebih mudah terabsorpsi dibandingkan trakea sehingga partikel tersebut lebih mudah mengendap di dalam bronkus. Setiap partikel yang terhirup akan terkumpul di saluran pernapasan dan dapat sampai ke peredaran darah. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Damayanti (2016), salah satu kandungan kimia yang terdapat di dalam pengharum ruangan cair adalah formaldehid.

Pada proses fisiologis dalam tubuh ketika awal paparan zat iritan pada permukaan bronkus, maka mukus akan berfungsi untuk menangkap partikel-partikel kecil dan besar agar tidak mencapai alveolus. Lendir kemudian dikeluarkan dari saluran pernapasan oleh silia. Silia menggerakkan lendir keluar dari paru secara perlahan-lahan. Partikel yang tertangkap di dalamnya kemudian akan ditelan atau dibatukkan. Namun, akibat penurunan fungsi dari sel silia menyebabkan sel goblet mengalami peningkatan fungsi dalam memproduksi mukus dan terjadi peningkatan jumlah sel goblet dalam melindungi permukaan epitel (Muhartiningsih, 2019).

Untuk mengetahui efek berbahaya dari suatu zat kimia pada suatu sel, jaringan atau organisme memerlukan dukungan ilmu patologi, yaitu dalam menunjukkan perubahan wujud atau perubahan makroskopi, mikroskopi, atau submikroskopi dari normalnya. Perubahan biologi akibat paparan toksin dapat termanifestasi dalam bentuk perubahan sistem kekebalan (imun) tubuh, untuk itu diperlukan bidang ilmu imunologi guna lebih dalam mengungkap efek toksik

pada sistem kekebalan organisme. Pada umumnya efek berbahaya atau efek farmakologik timbul apabila terjadi interaksi antara zat kimia (tokson atau zat aktif biologis) dengan reseptor (Rahayu, 2018).

Toksisitas yang ditunjukkan berbagai jenis pengharum ruangan sebenarnya bukan hanya berasal dari bahan dasarnya, melainkan berasal dari bahan tambahannya. Pada pengharum ruangan cair, toksisitas disebabkan adanya penambahan zat pelarut (*solvent*). Kadar toksisitas meningkat pada penggunaan pengharum ruangan cair yang bekerja dengan cara disemprotkan. Hal ini dikarenakan pada pengharum ruangan semprot turut pula ditambahkan gas bertekanan (*propellant*) dan menghasilkan zat kimia berkonsentrasi tinggi (Haschek, *et al.*, 2010). Terdapat dua jenis iritasi zat kimia pada saluran napas, khususnya mukosa nasal yaitu iritasi primer dan iritasi sekunder. Iritasi primer paparan zat iritan berpengaruh pada jaringan melalui kontak langsung. Zat iritan akan bereaksi langsung dengan epitel memicu respon inflamasi. Iritasi sekunder yang akan meningkatkan respon sistemik, seperti timbulnya ketergantungan, mual (nausea), dan pusing (Luttrell, *et al.*, 2008).

Menurut (Adi, 2014), epitel bersilia pada sistem ini sangat sensitif mudah cedera jika terpapar inhalan gas beracun, infeksi virus dan trauma. Jika mendapat paparan benda asing sel epitel ini akan membengkak, lepas dari membran basal ataupun kehilangan silia (desiliasi). Proses ini akan cepat sembuh jika penyebabnya dihilangkan. Namun jika proses berlangsung kronis maka akan terjadi hiperplasia dari epitel tersebut. Deposisi adalah proses terperangkapnya partikel dengan ukuran dan bentuk tertentu pada sistem pernapasan. *Clearance* adalah proses pemusnahan, penetralan, dan penyingkiran partikel terdeposisi dari



permukaan mukosa. Ada beberapa mekanisme yang memegang peranan pada proses *clearance* yaitu bersin, batuk, adsorpsi, transpor mukosiliaris dan fagositosis.

Pengukuran ketebalan epitel diamati dengan 3 lapang pandang menggunakan aplikasi image raster dan perbesaran 100x dan 400x. Pada kelompok K didapatkan gambaran histologi ketebalan epitel bronkus sebesar 0,20 mm. Pada kelompok P1, didapatkan gambaran histologi ketebalan epitel bronkus sebesar 0,54 mm. Pada kelompok P2, didapatkan gambaran histologi ketebalan epitel bronkus sebesar 0,69 mm. Pada kelompok P3, didapatkan gambaran histologi ketebalan epitel bronkus sebesar 0,49 mm. Alasan Perbedaan dari hasil pengukuran ketebalan epitel pelapis kemungkinan dipengaruhi oleh senyawa kimia yang terkandung dalam pengharum ruangan cair dan waktu pemaparan yang dilakukan selama penelitian. Subtansi dalam pengharum ruangan cair yang dapat mempengaruhi ketebalan epitel bronkus pada hewan percobaan kelompok perlakuan lebih tebal dibandingkan dengan hewan percobaan kelompok K (tanpa perlakuan).

Ketebalan epitel pelapis pada bronkus yang paling tipis pada kelompok kontrol (K), sedangkan kelompok perlakuan 2 (P2) memiliki ketebalan epitel yang paling tebal. Ini membuktikan bahwa paparan pengharum ruangan cair dengan dosis 3 ml selama 4 minggu mempunyai pengaruh terhadap epitel bronkus. Pada kelompok perlakuan 1 (P1) dan kelompok perlakuan 2 (P2) mengalami hipertrofi. Hipertrofi adalah pembesaran organ/jaringan dari ukuran normal tanpa pembelahan sel karena selnya yang membesar. Hipertrofi ditandai dengan inti sel yang membesar.

Hipertrofi adalah bertambahnya volume sel suatu jaringan atau organ tubuh tetapi sel selnya tidak dapat memperbanyak diri melainkan sel-sel yang menyusun jaringan atau organ tubuh tersebut menjadi lebih besar dari ukuran normal. Pada bronkus terjadi hipertrofi kelenjar mukus bronkus sehingga terjadi sekresi mukus yang berlebihan dan lebih kental. Secara histologi dapat dibuktikan dengan membandingkan tebalnya kelenjar mukus dan dinding bronkus (Suyanto, 2016).

Keadaan ini diduga karena senyawa kimia di dalam pengharum ruangan dapat menurunkan fungsi sel pada tubuh dan sel-sel pada jaringan bronkus. Gangguan pernapasan atau perubahan pada epitel saluran napas akibat zat kimia dapat berupa hipertrofi (Unitly, 2018). Pada paru normal, sel goblet terletak paling banyak pada saluran napas bagian atas seperti bronkus, semakin menuju ke bawah pada bagian bronkiolus jumlah sel goblet semakin menurun, sedangkan kelenjar sub mukosa hanya ada pada saluran napas atas dan tidak terdapat pada saluran bronkiolus. Dalam penyakit saluran pernapasan, terjadi pembesaran kelenjar sub mukosa (hipertrofi), sehingga terjadi penebalan saluran napas (Aini, 2018).

Penebalan epitel disebabkan karena sel/jaringan yang mengalami hipertrofi dan atrofi. Menurut Romdhoni (2015), munculnya hipertrofi dan atrofi merupakan suatu mekanisme adaptasi sel terhadap lingkungan, yang dalam hal ini respon terhadap cedera kimia yang disebabkan *formaldehide* yang terdapat di dalam pengharum ruangan. Farmakodinamik *formaldehide* adalah dengan menekan fungsi sel-sel dan mengakibatkan nekrosis jaringan. Farmakokinetik *formaldehide* adalah diserap melalui semua jalan saluran lambung/usus serta paru-paru dan dioksidasi menjadi asam *formic* dan bagian kecil *methyl format* (dibentuk *methyl*).

Asam formic di bronkus akan berikatan secara stabil dengan makromolekul seluler protein DNA yang dapat berupa ikatan silang (*cross linked*) sehingga terjadi kelainan pada epitel bronkus lambung seperti hipertrofi dan atrofi.

Pada kelompok perlakuan dua (P2) mempunyai ketebalan epitel bronkus lebih tebal dibandingkan perlakuan tiga (P3). Hal tersebut diduga karena mencit mengalami proses adaptasi sel atau pemulihan sel terhadap zat kimia yang terkandung di dalam pengharum ruangan cair, sehingga sel dapat memodifikasi. Ketika mengalami stres fisiologis atau rangsangan patologis, sel dapat beradaptasi, mencapai kondisi baru, dan mempertahankan kelangsungan hidupnya.

Menurut Suyanto (2016), bahan kimia dapat menyebabkan perubahan terhadap fungsi sel dan sel menjadi rusak dan mati, maka sel akan melakukan adaptasi. Respon sel dapat bersifat reversibel yaitu sel mengalami perubahan morfologis tetapi sel tidak mati. Salah satu bentuk respon adaptasi sel adalah atrofi. Atrofi adalah proses adaptasi sel di mana organ atau jaringan yang terbentuk tumbuh mencapai batas normal tetapi kemudian mengalami penyusutan.

Pemaparan pengharum ruangan cair dengan lama pemaparan 6 minggu (P3) dapat mengalami terjadinya atrofi sel, sehingga struktur sel pada epitel bronkus kemungkinan dapat kembali normal berbanding dengan P1 dan P2. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Yuniarto (2014), atrofi sel epitel mukosa dan hilangnya silia dari sel epitel yang terjadi pada kelompok perlakuan merupakan suatu respon adaptasi terhadap paparan zat kimia di dalam pengharum ruangan cair. Atrofi sel ditandai dengan berkurangnya ukuran suatu organ atau sel karena mengecilnya ukuran sel dan atau berkurangnya jumlah sel.

Sedangkan menurut Utama (2018), sel penyusun organ paru mengalami transisi menjadi semakin sederhana seiring dengan mengecilnya saluran udara yang semakin kecil. Hal ini dapat diamati dari perubahan epitel pada bronkus. Tipe sel epitel pada bronkus berupa sel epitel silindris bersilia disertai dengan sel goblet. Bagian yang mengandung tulang rawan kartilago hanya ditemukan pada bronkus primer dengan tipe sel epitel silindris bersilia disertai dengan sel goblet. Selain itu, jumlah jaringan ikat dan otot polos pun semakin sedikit.

Dalam keadaan normal, dinding bronkus terbuat dari beberapa lapisan yang ketebalan dan komposisinya bervariasi. Lapisan mukosa dan sub mukosa mengandung sel-sel yang melindungi saluran pernapasan dan paru-paru dari zat-zat yang berbahaya. Sel normal dapat mengalami perubahan apabila diberi rangsangan secara terus menerus yang dapat menyebabkan perubahan struktur sel. Menurut Sutoyo (2010), Epitelium pada pernapasan mempunyai kemampuan untuk melakukan perbaikan yang berdampak pada perubahan anatomi dan fungsi jalan napas. Proses perbaikan jaringan menimbulkan fibrosis matriks ekstraselular atau jaringan ikat sehingga terjadi penyempitan jalan napas.

Histologi dinding bronkus sama dengan trakea, yaitu terdiri dari *tunica mucosa*, *tunica muscularis*, *tunica adventitia*. Cabang yang sudah berada dalam jaringan paru histologi dindingnya banyak berubah. Cincin tulang rawan hilang, digantikan oleh keping tulang rawan, yang susunannya tidak teratur dan menunjang seluruh keliling saluran. *Tunica mucosa* pada cabang dan ranting bronkus yang besar memiliki epitel bentuk batang bersilia, sedangkan pada ranting yang kecil epitel berubah jadi kubus dan tidak bersilia. Ada lamina basalis tebal, membatasi jaringan epitel dari lamina propia. Dalam lamina propia

terkandung banyak serat elastis, dan sedikit serat kolagen dan retikulusa. Dibawah lamina propia terdapat *tunica muscularis-mucosa* (Yatim, 2006).

Di bawah mikroskop biasanya bronkus memiliki permukaan dalam yang berlekak-lekuk. Hal itu disebabkan karena dalam keadaan awet lapisan otot polos *tunica muscularis-mucosa* mengkerut. Kelenjar lendir terkandung dalam tunica mucosa dan tunica submucosa. *Tunica adventitia* mengandung serat jaringan ikat, sedikit jaringan lemak, dan dibawahnya terdapat keping tulang rawan yang susunannya tak teratur. Lapis terluar terdiri dari mesothelium, sebagai penerusan selaput dalam pleura (Yatim, 2006).

Berbagai terminologi dipakai untuk bagian-bagian dari saluran pernapasan. Terminologi yang dipakai di sini adalah yang terbaru didasarkan pada konsep segmen-segmen bronkopulmonal. Dari sebelah luar ke alveolus pembagiannya yaitu bronkus primer, bronkus sekunder atau bronkus lobaris, bronkus segmental, bronkus kecil (subsegmental, bronkiolus, bronkiolus terminalis, bronkiolus respiratorius, duktus alveolaris, saku alveolaris, alveoli. Struktur bronkus primer mula-mula seperti trakea. Pada waktu masuk paru, bentuk C tulang rawan digantikan oleh lempeng-lempeng terpisah tulang rawan yang mengelilingi bronkus, muskular polos menyebar dari muskulus trakealis untuk membentuk lapisan tidak lengkap di sekeliling lumen (Eroschenko, 2003).

Bronkus sekunder atau bronkus lobaris, ditandai oleh beberapa lempeng tulang rawan yang makin berdekatan. Epitelnya adalah epitel silindris bertingkat, bersilia dengan sel goblet yang membentuk dinding terlihat berturut-turut, lamina propia tipis, lapisan tipis muskular polos, submukosa di mana tersebar kelenjar bronkial, lempeng-lempeng tulang rawan hialin dan adventisia. Bronkus

segmental memperlihatkan susunan yang sama tetapi epitelnya lebih rendah dan tulang rawan berkurang jumlahnya. Pada bronkus subsegmental (kecil), hanya kadang-kadang terdapat sepotong kecil tulang rawan (Eroschenko, 2003).

Bronkus primer atau ektrapulmoner selanjutnya bercabang menjadi bronkus intrapulmoner. Bronkus tersebut dilapisi epitel silindris bertingkat bersilia. Epitel dikelilingi lamina propia tipis terdiri dari jaringan penyambung/ikat berserat halus dengan banyak serat elastis dan limfosit. Duktus kelenjar submukosa melewatinya untuk bermuara ke dalam lumen. Lapisan tipis muskular polos mengelilingi lamina propia. Di dalam submukosa ada kelenjar-kelenjar yang mungkin hanya mengandung alveoli serosa dan mukosa (Eroschenko, 2003).

Bronkus merupakan bagian dari traktus trakeobronkial, yaitu suatu struktur yang dimulai dari trakea kemudian berlanjut menjadi bronkus dan bronkiolus. Trakea bercabang menjadi bronkus utama kanan dan kiri dengan bronkus kanan lebih lebar, pendek, serta lebih vertikal daripada bronkus kiri. Hal ini menyebabkan partikel asing lebih sering terdeposit pada bronkus kanan. Bronkus utama kanan akan bercabang menjadi tiga lobus, yaitu lobus kanan atas, lobus kanan tengah, dan lobus kanan bawah. Bronkus utama kiri terbagi menjadi dua lobus, yaitu lobus kiri atas dan lobus kiri bawah. Setiap lobus bronkus akan menghantarkan udara ke lobus paru yang spesifik (Paramita, 2016).

Ukuran bronkus semakin ke bawah akan semakin mengecil dan strukturnya pun berubah. Cincin kartilago yang mendukung setiap cabang akan berubah menjadi kartilago yang ireguler dan pada akhirnya menghilang saat mencapai bronkiolus. Sel epitel berubah dari sel kolumnar berlapis semu menjadi sel kolumnar dan pada bagian terminal bronkiolus akan menjadi sel kubus. Otot

polos jumlahnya akan bertambah. Sel silia ataupun sel yang memproduksi mukus tidak ada lagi pada bronkiolus sehingga partikel asing tidak bisa dikeluarkan melalui sistem mukosiliar melainkan akan difagosit oleh makrofag pada alveoli. Perubahan epitel pada bronkus menggambarkan fungsi saluran pernapasan. Epitel kolumnar bersilia pada percabangan awal berfungsi untuk menghangatkan dan mengalirkan udara serta melakukan penyaringan melalui peran mukosiliar yang mendorong mukus ke arah atas menuju esofagus. Epitel berubah menjadi kubus pada percabangan bagian distal agar dapat terjadi pertukaran gas (Paramita, 2016).

Pada epitel bronkus, traktus trakeobronkial secara histologi terdiri dari tiga lapisan, yaitu lapisan epitel, lamina propria, dan lapisan kartilago. Lapisan epitel terutama tersusun dari epitel kolumnar bersilia berlapis semu yang diselingi oleh kelenjar submukosa. Membran basalis memisahkan lapisan epitel dengan lamina propria. Seluruh traktus pulmonar dilapisi oleh sel epitel yang memiliki fungsi penting untuk menjaga fungsi normal dari sistem respirasi. Sel ini bisa berfungsi sebagai pertahanan terhadap partikel asing, menjalankan transpor mukosiliar, menghasilkan zat-zat seperti mukus, protein surfaktan, ataupun peptida antimikroba, serta merangsang respons komponen saluran pernapasan lainnya seperti sel otot polos dan sel inflamatori (Paramita, 2016).

Jaringan epitel terdiri dari susunan sel-sel yang letaknya berdekatan dan disatukan oleh bahan antar sel (*intercellular substance*). Epitel di satu sisi mempunyai permukaan bebas dan di sisi lain berbatasan dengan jaringan lain di bawahnya. Jaringan epitel merupakan suatu lapisan yang sangat rapat susunan sel-selnya dan biasanya membatasi suatu lapisan yang sangat rapat susunan sel-selnya dan biasanya membatasi tubuh dengan lingkungannya baik sebelah luar maupun dalam seperti dinding usus, pembuluh darah, dan lain-lain (Hernawati, 2008).

Pada cabang bronkus terdapat silia yang berfungsi sebagai penyaring partikel-partikel udara dengan ukuran partikel sekitar 0,5-5  $\mu\text{m}$ . Saluran napas dapat dikatakan mengalami hambatan atau penyempitan bila terjadi pengurangan luas penampang saluran napas lebih dari 30% dari luas penampang saluran napas normal. Inflamasi yang terjadi pada saluran napas akan membuat kerusakan sel-sel silia bronkus, yang secara fisiologis berfungsi sebagai pelindung paru melalui penyaringan berbagai partikel yang terhirup ke dalam saluran napas. Kerusakan sel-sel silia pada saluran napas akan mengakibatkan terjadinya hipersekresi mukus sehingga menyebabkan penyempitan saluran napas (Suryadinata, 2016).

Sumbangsih yang diberikan pada hasil penelitian ini berupa modul pembelajaran pencemaran lingkungan. Menurut Gustinasari (2017), modul merupakan salah satu bahan ajar yang mampu meningkatkan efektivitas dan efisiensi pembelajaran di sekolah. Penggunaan modul dalam proses pembelajaran dapat mengaktifkan siswa sehingga pembelajaran tidak lagi berpusat pada guru. Selain itu, penggunaan modul dalam proses pembelajaran juga dapat membantu siswa dalam memahami materi biologi yang sebagian besar merupakan pengetahuan konseptual.

Penggunaan media pembelajaran modul dalam pembelajaran biologi memungkinkan siswa untuk dapat belajar mandiri, karena materi yang disajikan lengkap dan mampu menjadi pendamping kegiatan belajar siswa. Modul disusun untuk memudahkan siswa memahami materi pembelajaran baik disekolah maupun dirumah untuk belajar mandiri. Siswa juga dapat mengendalikan dan memperoleh apa yang menjadi kebutuhannya (Setiawati, 2017).



Setelah pembuatan sumbangsih penelitian berupa modul pembelajaran selesai, kemudian divalidasi oleh beberapa dosen ahli yang terdiri dari 1 dosen ahli materi, 1 dosen ahli bahasa, dan 1 dosen ahli tampilan media. Selain dari dosen ahli, media tersebut juga divalidasi oleh guru biologi di sekolah. Lembar validasi terdiri dari empat skor jawaban yaitu 1, 2, 3, dan 4. Untuk mengukur tingkat kevalidan media pembelajaran, dapat menggunakan rumus yaitu (Setiawati, 2017):

$$P = \frac{\text{jumlah skor jawaban penilaian oleh ahli}}{\text{jumlah skor jawaban tertinggi}} \times 100\%$$

Hasil masukan dari ahli tersebut dijadikan sebagai bahan revisi. Aspek penilaian meliputi aspek bahasa, aspek materi dan aspek media.

#### 1. Aspek Bahasa

Tujuan dari validasi ahli bahasa adalah untuk mengetahui ketepatan dan kesesuaian aspek tata bahasa dari produk yang dikembangkan. Jumlah butir pertanyaan sebanyak 6 indikator, sehingga rentang skor yang diperoleh yaitu antara 6-24. Pada lembar validasi ahli bahasa yang telah divalidasi tersebut semua indikator pertanyaan mendapatkan skor 4, sehingga skor yang diperoleh yaitu 24. Kemudian dihitung menggunakan rumus:

$$P = \frac{24}{24} \times 100\% = 100\% \text{ (sangat valid)}$$

#### 2. Aspek Materi

Tujuan dari validasi ahli materi adalah untuk mengetahui ketepatan dan kesesuaian aspek kandungan isi materi dari produk yang dikembangkan apakah sudah sesuai dengan kebutuhan pembelajaran atau belum sesuai dengan kebutuhan pembelajaran. Jumlah butir pertanyaan sebanyak 7

indikator, sehingga rentang skor yang diperoleh yaitu antara 7-28. Pada lembar validasi ahli bahasa yang telah divalidasi tersebut 5 indikator pertanyaan mendapatkan skor 3 dan 2 indikator pertanyaan mendapatkan skor 4, sehingga skor yang diperoleh yaitu 23. Kemudian dihitung menggunakan rumus:

$$P = \frac{23}{28} \times 100\% = 82,14\% \text{ (sangat valid)}$$

### 3. Aspek Media

Tujuan dari validasi ahli media adalah untuk mengetahui kesesuaian tampilan dari produk yang dihasilkan. Jumlah butir pertanyaan sebanyak 7 indikator, sehingga rentang skor yang diperoleh yaitu antara 7-28. Pada lembar validasi ahli bahasa yang telah divalidasi tersebut 5 indikator pertanyaan mendapatkan skor 3 dan 2 indikator pertanyaan mendapatkan skor 4, sehingga skor yang diperoleh yaitu 23. Kemudian dihitung menggunakan rumus:

$$P = \frac{23}{28} \times 100\% = 82,14\% \text{ (sangat valid)}$$

Sedangkan hasil dari validasi media dengan guru biologi didapatkan pada aspek bahasa 6 indikator mendapatkan skor 4. Pada aspek materi 6 indikator mendapatkan skor 4 dan 1 indikator mendapatkan skor 3. Pada aspek media 6 indikator mendapatkan skor 4 dan 1 indikator mendapatkan skor 3. Kemudian

dihitung menggunakan rumus:  $P = \frac{24}{24} \times 100\% = 100\%$  (Aspek Bahasa)

$$P = \frac{27}{28} \times 100\% = 96,42\% \text{ (Aspek Materi)}$$

$$P = \frac{27}{28} \times 100\% = 96,42\% \text{ (Aspek Media)}$$

## Mekanisme Masuknya Zat Kimia ke dalam Bronkus

