

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Penelitian

Penelitian ini menggunakan hewan uji tikus putih (*Rattus norvegicus*) jantan galur *Wistar* yang berusia 1 bulan sebanyak 28 ekor. Hewan uji dikelompokkan menjadi kelompok kontrol (K), kelompok pewangi (P1), kelompok karbon aktif (P2), dan kelompok karbon pewangi (P3). Masing – masing kelompok terdiri dari 7 ekor hewan uji.

Pendedahan pewangi ruangan (P1), karbon aktif (P2), dan karbon pewangi (P3) dilakukan selama 35 hari. Pada kelompok pewangi ruangan (P1), pewangi ruangan digantung pada tepi kandang perlakuan, pada kelompok karbon aktif (P2), karbon aktif digantung pada tepi kandang perlakuan dan pada kelompok karbon pewangi (P3), karbon aktif dan pewangi digantung pada tepi kandang perlakuan secara bersama - sama. Tiap kelompok perlakuan dimasukkan ke dalam kandang perlakuan dalam 8 jam perhari selama 35 hari, setelah itu akan dipindahkan kembali ke Laboratorium Hewan Uji. Kelompok kontrol (K) tidak mendapatkan perlakuan apapun dan tetap berada di dalam Laboratorium Hewan Uji selama berlangsungnya penelitian.

Semua hewan uji dibedah pada hari ke – 36. Pembedahan diawali dengan penimbangan hewan uji sebagai parameter dari tingkat kesehatan hewan tersebut. Berat badan hewan uji sebelum dilakukan pembedahan berkisar antara 200 - 300 gram. Selanjutnya, dilakukan pembuatan preparat pada organ pulmo dan proses uji

histopatologi dengan mengukur ketebalan septum interalveolaris, diameter alveolus, dan menghitung jumlah dari jenis – jenis sel radang pada pulmo. Sel radang yang diamati adalah sel limfosit, sel PMN (*polymorphonuclear*), sel plasma, eosinofil, dan histiosit (makrofag).

B. Hasil Penelitian

1. Perubahan Ketebalan Septum Alveolaris

Pengamatan pada kelompok kontrol (K) dan kelompok karbon aktif (P2) menunjukkan gambaran histologi septum interalveolaris pulmo yang tipis dengan diameter alveolus yang lebar, sedangkan kelompok yang didedahkan pada pewangi ruangan (P1) memiliki gambaran histologi septum interalveolaris yang sangat tebal dibandingkan dengan kelompok lain, kelompok yang didedahkan pada pewangi ruangan dan karbon aktif (P3) juga mengalami penebalan septum interalveolaris namun lebih tipis jika dibandingkan dengan kelompok pewangi ruangan (P1).

Hasil uji normalitas data menggunakan metode *Saphiro-Wilk*, menunjukkan masing – masing kelompok memiliki nilai $p > 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa data septum interalveolaris memiliki distribusi normal. Data yang berdistribusi normal dapat dilanjutkan dengan uji parametrik *One Way Anova*.

Analisis data dengan metode *One Way Anova* menghasilkan nilai $p = 0,013$ atau $p < 0,005$ yang membuktikan bahwa terdapat perbedaan ketebalan septum interalveolaris yang bermakna pada keempat kelompok perlakuan. Rata – rata ketebalan septum interalveolaris dalam mikrometer

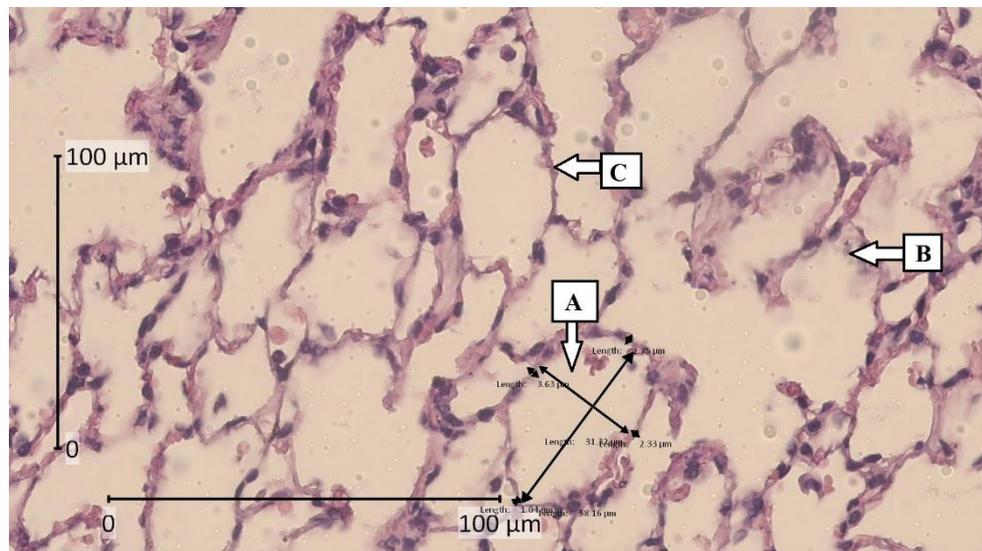
(μm) dari masing – masing kelompok dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah. Tabel ini menunjukkan bahwa kelompok kontrol (K) memiliki septum interalveolaris yang paling tipis, sedangkan yang paling tebal berada pada kelompok pewangi (P1).

Tabel 4.1. Tabel rerata skor ketebalan septum interalveolaris ($x \pm \text{SD}$) *Rattus norvegicus* pada kelompok penelitian setelah didedahkan pada pewangi ruangan dan karbon aktif dalam 8 jam perhari selama 35 hari

Kelompok	Rata – rata (μm) \pm SD	<i>One Way Annona Test</i>
Kontrol (K)	6,838 \pm 2,719 ^a	$p = 0,013$
Pewangi (P1)	15,408 \pm 7,693 ^b	
Karbon Aktif (P2)	7,658 \pm 2,744 ^a	
Karbon Pewangi (P3)	14,997 \pm 7,692 ^b	

Keterangan ^{a,b} : huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan pada uji statistik *One Way Annona* dengan uji *Post hoc* Duncan pada tingkat kepercayaan 95%.

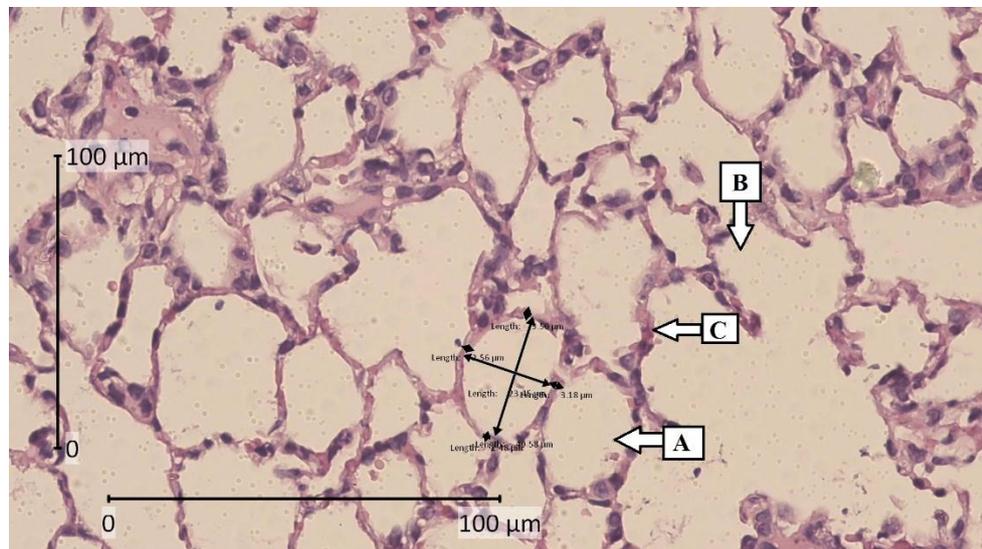
Hasil analisis *OneWay Annona* dilanjutkan dengan uji *post hoc* Duncan, untuk mengetahui kelompok mana yang berbeda secara signifikan. Hasil uji *post hoc* Duncan menunjukkan terdapat perbedaan secara signifikan antara kelompok yang didedahkan pada pewangi ruangan, yaitu kelompok pewangi (P1) dan kelompok karbon pewangi (P3) dengan kelompok kontrol (K) dengan kelompok karbon aktif (P2). Selain itu, terdapat perbedaan yang tidak signifikan antara kelompok pewangi (P1) dengan kelompok karbon pewangi (P3), dan kelompok kontrol (K) dengan kelompok karbon aktif (P2). Berikut adalah gambaran histologi pulmo pada tiap kelompok.



Gambar 4.1. Histologi septum interalveolaris dan diameter alveolus kelompok kontrol (K) yang tidak didedahkan pada pewangi ruangan maupun karbon aktif, HE (10x40)

Keterangan :

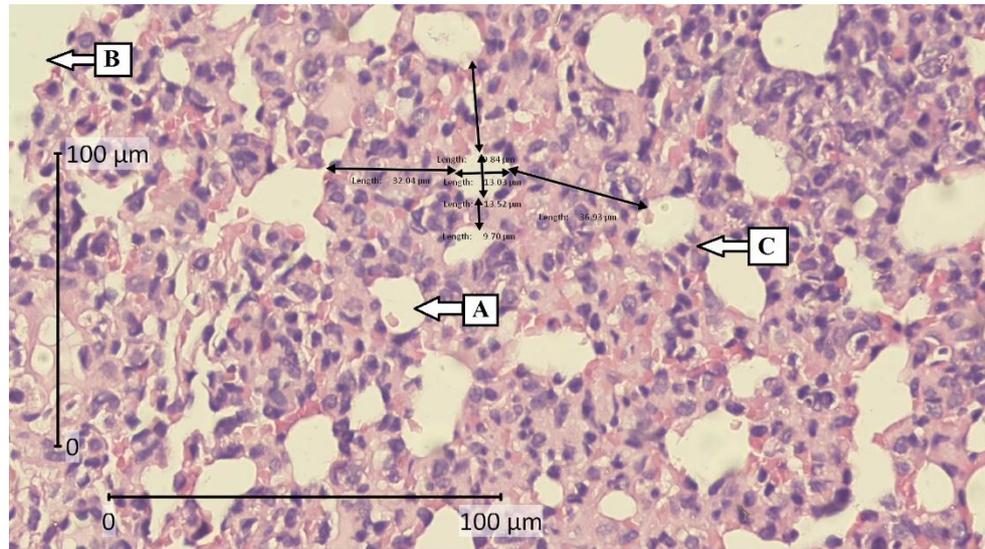
A = Alveolus B = Saccus alveolus C = Septum interalveolaris



Gambar 4.2. Histologi septum interalveolaris dan diameter alveolus kelompok karbon aktif (P2) yang didedahkan pada karbon aktif dalam 8 jam perhari selama 35 hari, HE (10x40)

Keterangan :

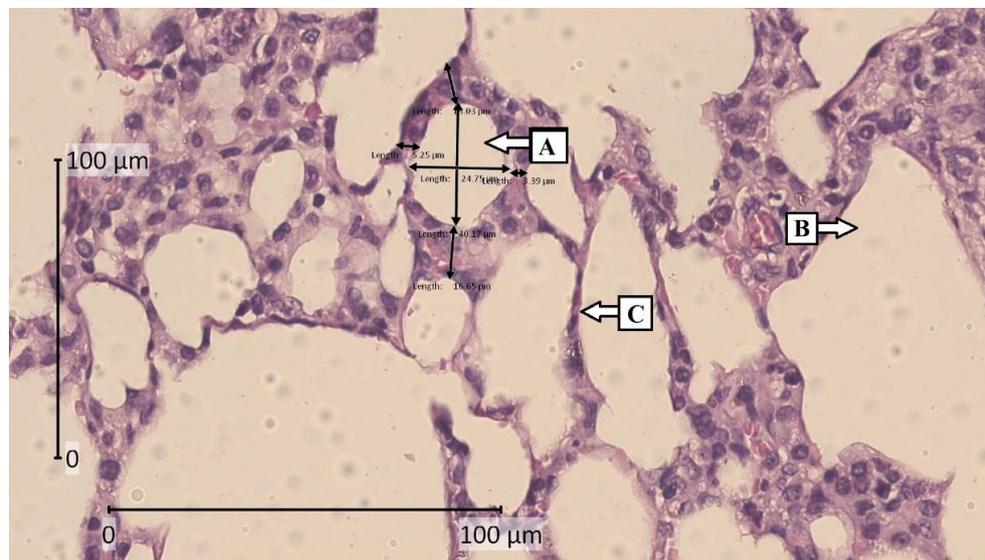
A = Alveolus B = Saccus alveolus C = Septum interalveolaris



Gambar 4.3 Histologi septum interalveolaris dan diameter alveolus kelompok pewangi (P1) yang didedahkan pada pewangi ruangan dalam 8 jam perhari selama 35 hari, HE (10x40)

Keterangan :

A = Alveolus B = Saccus alveolus C = Septum interalveolaris



Gambar 4.4. Histologi septum interalveolaris dan diameter alveolus kelompok karbon pewangi (P3) yang didedahkan pada karbon aktif dan pewangi ruangan dalam 8 jam perhari selama 35 hari, HE (10x40)

Keterangan :

A = Alveolus B = Saccus alveolus C = Septum interalveolaris

2. Perubahan Diameter alveolaris

Hasil uji normalitas data menggunakan metode *Saphiro-Wilk* menunjukkan masing – masing kelompok memiliki nilai $p > 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa data diameter alveolus memiliki distribusi normal. Selanjutnya data dapat diuji secara parametrik dengan metode *One Way Annova*. Analisis data dilanjutkan dengan metode *One Way Annova*. Hasil analisis menunjukkan nilai $p = 0,000$ atau $p < 0,005$ yang membuktikan bahwa terdapat perbedaan gambaran histologi diameter alveolus yang bermakna pada kelompok perlakuan. Rata – rata diameter alveolus dalam mikrometer (μm), tercantum pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2. Tabel rerata diameter alveolus ($\bar{x} \pm \text{SD}$) *Rattus norvegicus* pada kelompok penelitian setelah didedahkan pada pewangi ruangan dan karbon aktif dalam 8 jam perhari selama 35 hari

Kelompok	Rata – rata (μm) \pm SD	<i>One Way Annova</i> Test
Kontrol (K)	$32,387 \pm 3,600^{\text{a}}$	
Pewangi (P1)	$19,964 \pm 2,177^{\text{c}}$	
Karbon (P2)	$31,520 \pm 4,095^{\text{a}}$	$p = 0,000$
Karbon Pewangi (P3)	$24,021 \pm 4,402^{\text{b}}$	

Keterangan ^{a,b,c} = huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan pada uji statistik *One Way Annova* dengan uji *Post hoc* Duncan pada tingkat kepercayaan 95%.

Tabel di atas menunjukkan bahwa kelompok kontrol (K) memiliki diameter terlebar, sedangkan kelompok pewangi (P1) memiliki diameter alveolus tersempit. Hasil analisis *One Way Annova* dilanjutkan dengan uji

post hoc Duncan yang menunjukkan terdapat perbedaan yang bermakna antara kelompok pewangi (P1) dengan ketiga kelompok lainnya, kelompok karbon pewangi (P3) dengan ketiga kelompok lainnya, serta perbedaan yang tidak bermakna antara kelompok karbon (P2) dengan kelompok kontrol (K).

3. Penghitungan Jumlah dari Jenis – Jenis Sel Radang

Hasil uji normalitas data dengan menggunakan metode *Saphiro-Wilk*, menunjukkan bahwa kelompok kontrol (K), kelompok pewangi (P1), kelompok karbon aktif (P2), dan kelompok karbon pewangi (P3) untuk setiap masing – masing jenis sel radang memiliki nilai $p > 0,05$. Hal tersebut menunjukkan bahwa data berdistribusi secara normal, sehingga data dapat dianalisis menggunakan uji parametrik dengan metode *One Way Anova*. Uji analisis data menggunakan metode *One Way Anova* menghasilkan nilai $p < 0,05$ pada semua kelompok sel radang, hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan rata – rata jumlah dari setiap sel radang pada kelompok secara signifikan.

Rata – rata jumlah dari jenis sel radang yaitu limfosit, PMN, plasma, eosinofil, dan histiosit pada setiap kelompok tercantum dalam Tabel 4.3. Tabel 4.3 menunjukkan bahwa kelompok kontrol (K) didominasi oleh PMN, diikuti dengan eosinofil, limfosit, histiosit, dan sel plasma. Kelompok pewangi (P1) didominasi oleh limfosit, diikuti dengan eosinofil, PMN, histiosit, dan sel plasma. Pada kelompok karbon aktif (P2) didominasi oleh PMN, diikuti dengan histiosit, eosinofil, sel plasma, dan

limfosit. Sedangkan pada kelompok karbon pewangi (P3) didominasi oleh limfosit, diikuti dengan PMN, eosinofil, sel plasma, dan histiosit.

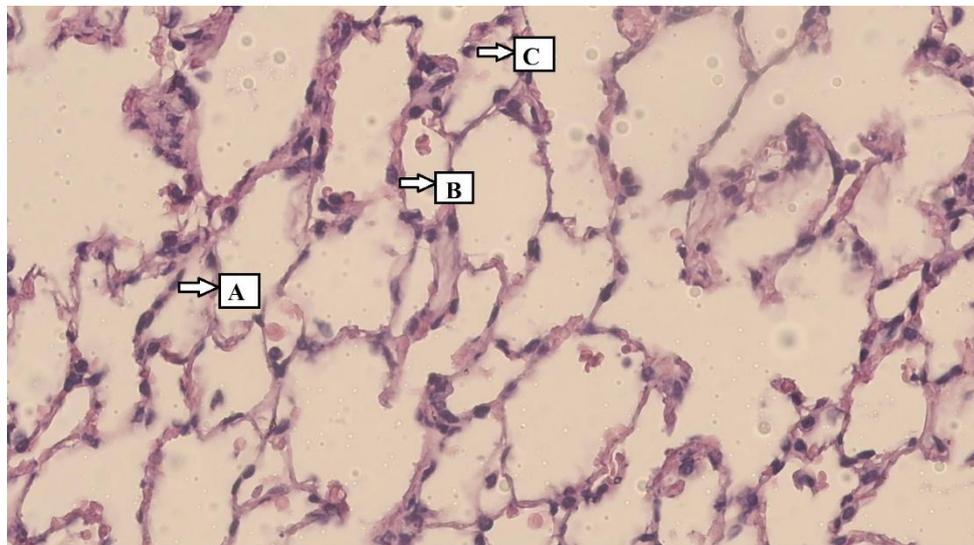
Tabel 4.3. Tabel rerata jumlah dari jenis – jenis sel radang ($x \pm SD$) organ pulmo *Rattus norvegicus* pada kelompok penelitian setelah didedahkan pada pewangi ruangan dan karbon aktif dalam 8 jam perhari selama 35 hari

No	Sel Radang	Rata – rata Jumlah Sel Radang \pm SD				One Way Anova Test
		Kontrol (K)	Pewangi (P1)	Karbon Aktif (P2)	Karbon Pewangi (P3)	
1.	Limfosit	3,43 \pm	23,57 \pm	1,43 \pm	17,14 \pm	$p = 0,030$
		2,225 ^a	16,552 ^b	1,134 ^a	16,708 ^{a,b}	
2.	PMN	4,71 \pm	10,14 \pm	9,00 \pm	8,71 \pm	$p = 0,000$
		1,976 ^c	5,699 ^d	2,309 ^c	2,360 ^d	
3.	Plasma	2,00 \pm	5,71 \pm	1,86 \pm	5,14 \pm	$p = 0,002$
		1,528 ^e	2,870 ^f	,900 ^e	2,610 ^f	
4.	Eosinofil	3,57 \pm	17,00 \pm	3,00 \pm	6,00 \pm	$p = 0,000$
		2,637 ^g	9,522 ^h	2,944 ^g	1,528 ^g	
5.	Histiosit	3,00 \pm	5,57 \pm	3,86 \pm	5,00 \pm	$p = 0,039$
		2,160 ⁱ	,976 ^j	1,069 ^{i,j}	2,160 ^j	

Keterangan ^{a-j} = huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan pada uji statistik *One Way Anova* dengan uji *Post hoc* Duncan pada tingkat kepercayaan 95%.

Hasil uji *post hoc* Duncan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan secara signifikan antara kelompok kontrol (K) dan kelompok karbon aktif (P1) dibandingkan dengan kelompok pewangi (P2) dan kelompok karbon

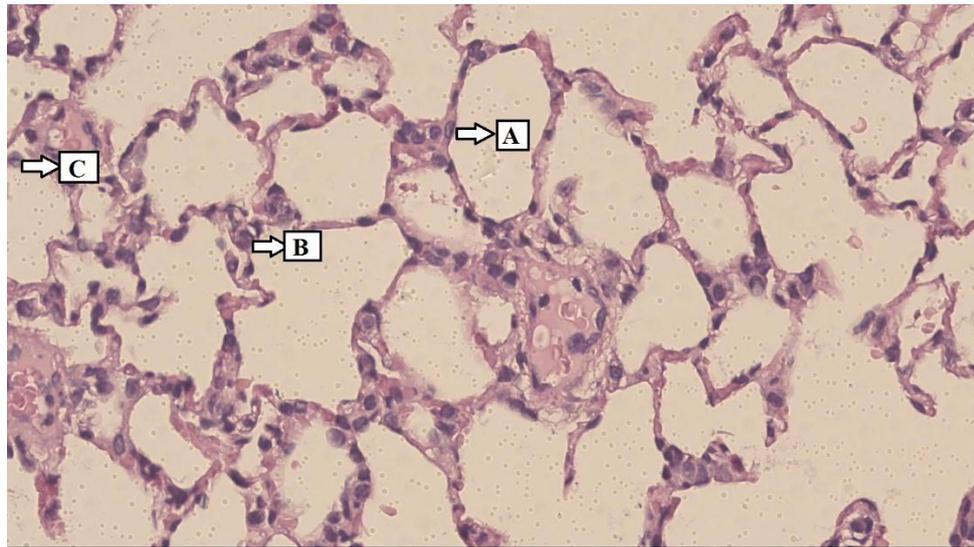
pewangi (P3) untuk jenis sel radang PMN dan sel plasma. Sedangkan pada jenis sel radang eosinofil terdapat perbedaan secara signifikan antara kelompok pewangi (P1) dengan ketiga kelompok lainnya. Selain itu, jumlah sel radang limfosit pada kelompok karbon pewangi (P3) tidak berbeda secara signifikan dengan ketiga kelompok lainnya, dan jumlah sel radang histiosit pada kelompok karbon aktif (P2) juga tidak signifikan dibanding ketiga kelompok lainnya.



Gambar 4.5. Histologi pulmo dan jumlah sel radang kelompok kontrol (K), yang tidak didedahkan pada pewangi ruangan dan karbon aktif, HE (10x40)

Keterangan :

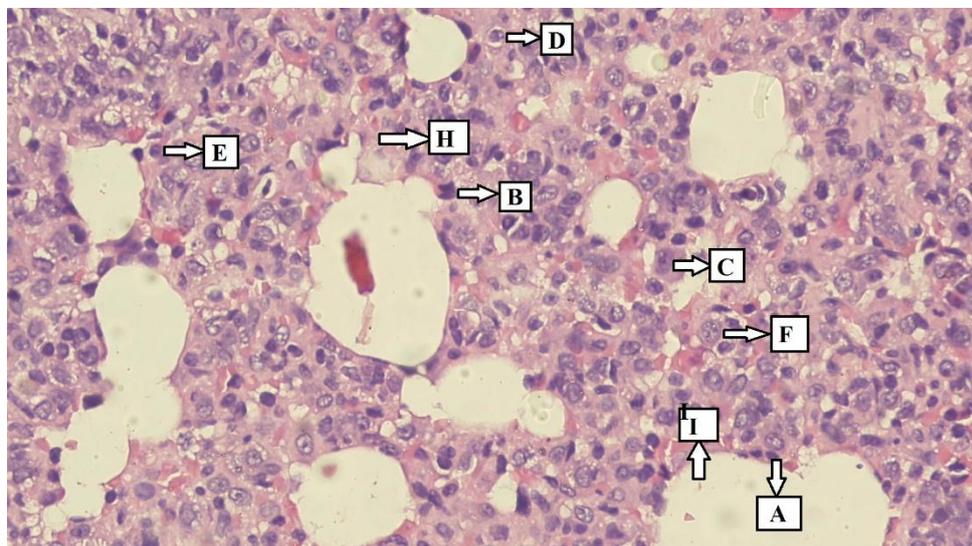
A = Pneumosit tipe I	B = Pneumosit tipe II	C = PMN
D = Limfosit	E = Eosinofil	F = Histiosit
G = Sel Plasma	H = Fibrosis	I = Emfisema



Gambar 4.6. Histologi pulmo dan jumlah sel radang kelompok karbon aktif (P2) yang didedahkan pada karbon aktif dalam 8 jam perhari selama 35 hari, HE (10x40)

Keterangan :

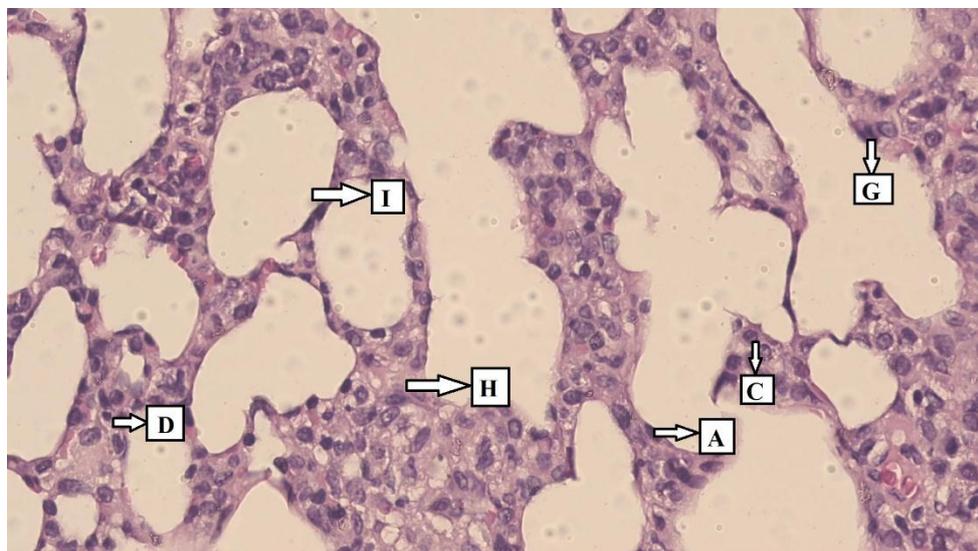
A = Pneumosit tipe I	B = Pneumosit tipe II	C = PMN
D = Limfosit	E = Eosinofil	F = Histiosit
G = Sel Plasma	H = Fibrosis	I = Emfisema



Gambar 4.7. Histologi pulmo dan jumlah sel radang kelompok pewangi (P1) yang didedahkan pada pewangi ruangan dalam 8 jam perhari selama 35 hari, HE (10x40)

Keterangan :

A = Pneumosit tipe I	B = Pneumosit tipe II	C = PMN
D = Limfosit	E = Eosinofil	F = Histiosit
G = Sel Plasma	H = Fibrosis	I = Emfisema



Gambar 4.8. Histologi pulmo dan jumlah sel radang kelompok karbon pewangi (P3) yang didedahkan pada karbon aktif dan pewangi ruangan dalam 8 jam sehari selama 35 hari, HE (10x40)

Keterangan :

A = Pneumosit tipe I	B = Pneumosit tipe II	C = PMN
D = Limfosit	E = Eosinofil	F = Histiosit
G = Sel Plasma	H = Fibrosis	I = Emfisema

C. Pembahasan

1. Perubahan Ketebalan Septum Interalveolaris

Urutan ketebalan septum interalveolaris dari yang terkecil adalah kelompok kontrol (K) < kelompok karbon (P2) < kelompok karbon pewangi (P3) < kelompok pewangi (P1). Kelompok pewangi (P1) dan kelompok karbon pewangi (P3) mengalami ketebalan septum interalveolaris yang signifikan karena tikus putih didedahkan pada pewangi ruangan yang mengandung formaldehida. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Mohamed (2012), subjek penelitiannya didedahkan formaldehida dengan dosis toksik 0,5 ppm dan

menunjukkan terjadinya penebalan septum interalveolaris, karena formaldehida dapat menginduksi sitotoksitas pada saluran pernapasan dalam bentuk cedera paru akut yang disebabkan oleh kerusakan sel epitel dan fungsinya.

Pada penelitian ini, pewangi ruangan yang digunakan adalah sediaan gel. Pewangi ruangan sediaan gel lebih banyak mengandung formaldehida daripada sediaan cair (SCHER, 2006). Berdasarkan hasil pengukuran kadar formaldehida dengan metode spektrofotometri UV-vis yang telah dilakukan oleh LPPT (Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu) UGM, pewangi ruangan gel yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kadar formaldehida sebesar 0,62 ppm. Ketika kadar formaldehida di udara lebih dari 0,1 ppm, maka akan menimbulkan efek samping seperti batuk dan sesak nafas (Pratiwi, 2010).

Formaldehida memiliki sifat sitotoksik yang dapat bereaksi langsung pada jaringan pulmo, sehingga akan mempengaruhi fungsi alveolus. Formaldehida yang terhirup akan bekerja secara cepat merangsang saraf sensorik sehingga melepaskan zat *tachykinin* yang merupakan mediator inflamasi. Zat tersebut menstimulasi reseptor *tachykinin* NK1 yang menyebabkan peningkatan permeabilitas pembuluh darah, sehingga terjadi kebocoran mikrovaskular di saluran pernapasan (Mohamed *et al.*, 2012). Hilangnya cairan kaya protein akan menurunkan tekanan osmotik intravaskular, sehingga air dan ion akan mengalir ke jaringan ekstrasvaskular dan terjadi edema di jaringan sekitar radang (Kumar *et al.*,

2007). Edema inilah yang dapat menyebabkan penebalan pada septum interalveolaris.

Faktor lain terjadinya penebalan septum interalveolaris pada kelompok pewangi (P1) dan karbon pewangi (P3) adalah peningkatan *Reactive Oxygen Substance* (ROS) yang disebabkan karena formaldehida. Peningkatan produksi ROS yang berlebih dapat bersifat toksik dan meningkatkan cedera jaringan. ROS dapat menurunkan aktivitas enzim *superoxide dismutase* (SOD) yang merupakan *scavenger* utama radikal bebas, sehingga dapat terjadinya stres oksidatif (Heryani, 2011). Stres oksidatif menyebabkan terganggunya keseimbangan antara enzim oksidan dan antioksidan dalam jaringan pulmo, sehingga memodulasi peradangan pada pulmo (Lino, 2011). Pada penelitian ini, kelompok pewangi (P1) dan kelompok karbon pewangi (P2) didedahkan pada pewangi ruangan selama 35 hari yang dapat menyebabkan peradangan kronik pada pulmo. Peradangan kronik menyebabkan terbentuknya fibrosis atau jaringan parut akibat peradangan yang berat dan menetap (Kumar *et al.*, 2007). Proses fibrosis pada paru dapat merusak serat retikulin dan elastin penyusun septum interalveolaris. Kerusakan pada serat elastin menyebabkan alveolus sukar mengembang sehingga menjadi kolaps. Alveolus yang kolaps menyebabkan septum interalveolaris yang berdekatan saling menyatu, sehingga didapatkan gambaran histologi penebalan septum interalveolaris pada kedua kelompok ini.

Septum interalveolaris berisi cairan, kolagen, serat elastin, dan sel – sel seperti makrofag, sel mast, limfosit, dan sel plasma. Hilangnya elastisitas pada serat elastin dari septum interalveolaris ini dapat menimbulkan emfisema. Sel – sel yang paling banyak terdapat pada septum ini adalah fibroblas dan pericytes yang dekat dengan kapiler lamina basalis. Pericytes yang kontraktil mengandung aktin dan myosin yang dapat memodifikasi pelebaran pada alveoli sehingga dapat mengganggu fungsi paru – paru. Sel-sel bebas atau bermigrasi di septum interalveolaris meliputi makrofag, sel mast, limfosit, dan sel plasma (Bergman *et al.*, 1996).

Pada kelompok karbon pewangi (P3), ketebalan septum interalveolarisnya lebih tipis dibandingkan dengan kelompok pewangi (P1) meskipun tidak signifikan secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa karbon aktif sebagai adsorben mampu mengurangi risiko kerusakan jaringan pada pulmo akibat *indoor pollution* yang disebabkan oleh pewangi ruangan. Karbon aktif yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk granular. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Shin & Song (2011), Penggunaan karbon aktif granular merupakan metode adsorpsi yang paling umum untuk menghilangkan formaldehida pada konsentrasi rendah di udara dalam ruangan. Karbon aktif granular sangat baik untuk menyerap sebagian besar senyawa organik, seperti formaldehida, namun formaldehida yang sudah diserap dapat kembali ke udara karena harus berkompetisi dengan bahan kimia lain yang memiliki potensi diserap lebih

tinggi. Senyawa kimia pada pewangi ruangan tidak hanya mengandung formaldehida, sehingga karbon aktif yang digunakan dalam penelitian ini tidak hanya menyerap formaldehida saja, melainkan juga senyawa kimia lain yang terdapat dalam pewangi ruangan tersebut. Secara umum, senyawa *Volatile Organic Compound* (VOC) merupakan senyawa emisi utama pewangi ruangan karena VOC memiliki volatilitas tinggi dan titik didih yang rendah, sehingga senyawa ini menghasilkan ozon dan bau (Kim *et al.*, 2015). Senyawa VOC yang terkenal adalah benzena, toluena, etil benzena, xylene, terpena (α -pinene dan *d-limonene*) dan aldehida (formaldehida) (Patko *et al.*, 2013).

Kapasitas adsorpsi maksimum pada karbon aktif filter terhadap senyawa VOC yaitu benzena, 1-butanol, toluena, xylene, dan formaldehida berturut – turut diperkirakan sebanyak 3,1 mg/g, 4,8 mg/g, 24,2 mg/g, 7,8 mg/g, dan 2,6 mg/g (1 ppm setara 0,001 mg/g) (Sidheswaran *et al.*, 2011). Maka dapat disimpulkan bahwa karbon aktif yang digunakan dapat menyerap formaldehida sekitar 2600 ppm. Pada penelitian ini, pewangi ruangan yang digunakan hanya memiliki kadar formaldehida sebesar 0,62 ppm, namun seperti yang sudah dijelaskan di atas bahwa ada kemungkinan karbon aktif harus mengadsorpsi senyawa kimia lain selain formaldehida dan terjadi kompetisi senyawa mana yang memiliki potensi diserap lebih tinggi sehingga formaldehida dapat terlepas kembali ke udara.

Faktor lain yang dapat menyebabkan kedua kelompok ini tidak berbeda secara signifikan adalah adanya kejenuhan pada karbon aktif yang

digunakan. Pada penelitian yang dilakukan Sidheswaran, *et al* (2011), menyatakan bahwa karbon aktif filter memiliki *bed life*. *Bed life* adalah waktu dimana karbon aktif menjadi jenuh dan tidak dapat menyerap senyawa kimia lagi. Karbon aktif filter memiliki *bed life* sekitar 103 jam, sehingga penggantian atau regenerasi karbon aktif filter diperlukan setiap 103 jam setelah pemakaian agar daya adsorpsi yang dihasilkan tetap baik. Dalam penelitian ini, karbon aktif yang digunakan adalah karbon aktif granular yang digunakan selama 8 jam dalam 35 hari (dapat dikonversikan menjadi 280 jam) tanpa dilakukan pergantian. Lama waktu pemakaian ini memungkinkan penurunan daya adsorpsi pada karbon aktif atau sudah tidak dapat menyerap formaldehida dan senyawa lain yang didedahkan pewangi ruangan. Karbon aktif yang mengalami penurunan adsorpsi juga dapat mengalami proses desorpsi, yaitu pelepasan kembali zat – zat kimia yang telah diadsorpsi karena karbon aktif mengalami kejenuhan sehingga tidak mampu mengadsorpsi zat kimia lebih banyak lagi. Hal ini dapat disebabkan karena seluruh gugus aktif pada karbon aktif tersebut telah terikat dengan zat kimia yang didedahkan (Marlinawati *et al.*, 2015).

Pada kelompok kontrol (K), septum interalveolarisnya lebih tipis dibandingkan dengan kelompok karbon aktif (P2) namun tidak berbeda secara signifikan. Hal ini dapat disebabkan karena proses pembuatan karbon aktif melalui berbagai proses kimia ataupun fisika (Lempang, 2014), proses ini kemungkinan dapat memberikan efek buruk pada sistem pernapasan karena merupakan organ yang terpapar langsung terpapar

melalui proses inhalasi. Selain itu, setiap kandang pemeliharaan tikus putih terdapat zat amoniak yang dihasilkan dari urin tikus tersebut, zat amoniak dapat menyebabkan kerusakan sistem pernapasan seperti inflamasi akut pada paru – paru (Ali *et al.*, 2012). Penelitian Abdul, *et al* (2010), didapatkan bahwa karbon aktif dapat menyerap zat amoniak, namun merupakan adsorben terburuk jika dibandingkan dengan *composite media* dan zeolite. *Composite media* dapat mengadsorpsi amoniak hingga kapasitas tertinggi yaitu 32,89 mg/g, zeolite sebesar 17,45 mg/g, sedangkan karbon aktif hanya sebesar 6,08 mg/g, sehingga kadar amoniak antara kedua kelompok ini tidak berbeda secara signifikan.

Septum interalveolaris pada kelompok kontrol (K) memang lebih tipis dibandingkan dengan kelompok karbon aktif (P2), namun tidak berbeda secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa karbon aktif relatif aman digunakan sebagai adsorben *indoor pollution* terutama pewangi ruangan.

2. Perubahan Diameter Alveolus

Hasil penelitian membuktikan adanya pengaruh pendedahan pewangi ruangan, karbon, maupun karbon pewangi terhadap perubahan ukuran diameter alveolus pada *Rattus norvegicus*. Rata – rata diameter alveolus kelompok kontrol > kelompok karbon aktif > kelompok karbon pewangi > kelompok pewangi.

Kelompok pewangi (P1) memiliki ukuran diameter alveolus yang terkecil jika dibandingkan dengan kelompok lain. Perubahan ukuran diameter alveolus pada kelompok pewangi dapat disebabkan karena adanya mekanisme edema dan atelektasis yang disebabkan karena paparan formaldehida pada pewangi ruangan.

Pada penelitian yang dilakukan Mohamed, *et al* (2012), inhalasi formaldehida berdasarkan lamanya waktu menyebabkan peradangan dan perubahan histologi pada tikus putih. Mekanisme peradangan tersebut terjadi akibat formaldehida dapat memacu saraf sensoris yang mengaktifkan reseptor tachykinin NK1 sehingga terjadi peningkatan permeabilitas vaskular dan kebocoran mikrovaskular pada saluran pernapasan yang akan menyebabkan edema. Formaldehida juga dapat memicu terjadinya stres oksidatif akibat penurunan aktivitas enzim *superoxide dismutase* (SOD) (Heryani *et al.*, 2014). Stres oksidatif menyebabkan terganggunya keseimbangan fisiologis suatu oksidan dan antioksidan dalam jaringan pulmo, sehingga memodulasi peradangan pulmo dan menimbulkan terjadinya fibrosis (Lino, 2011). Kedua proses tersebut akan memacu penebalan septum interalveolaris yang akan mengkompresi ukuran alveolus. Hal tersebut membuat ukuran diameter alveolus menjadi semakin sempit. Sesuai dengan teori di atas, karena septum interalveolaris pada kelompok pewangi (P1) memiliki ukuran yang paling tebal, maka kelompok (P1) akan memiliki diameter alveolus yang paling sempit dibandingkan kelompok lain

karena mengalami atelektasis akibat terjadinya fibrosis pada septum interalveolarisnya.

Kelompok karbon pewangi (P3) berada di urutan kedua dengan diameter terkecil. Perbedaan ukuran diameter antara kelompok pewangi dengan karbon pewangi adalah signifikan dengan uji *post hoc* Duncan. Hal ini menunjukkan bahwa karbon aktif menyerap senyawa kimia yang dihasilkan oleh pewangi ruangan. Hasil penelitian yang dilakukan Sidheswaran, *et al* (2011), mengemukakan bahwa karbon aktif memiliki potensi untuk membersihkan udara dalam ruangan yang mengandung VOC dan secara bersamaan mengurangi penggunaan ventilasi. Karbon aktif dapat menyerap VOC termasuk toluena, benzena, o-xilena, 1-butanol, limonene, dan formaldehida. Karbon aktif serta karbon aktif yang dimodifikasi juga terbukti mampu menghilangkan bau busuk dan zat berbahaya di udara, salah satunya adalah formaldehida (Jing *et al.*, 2008).

Gustan, *et al* (2004) melakukan penelitian dengan menggunakan serbuk gergaji kayu jati (*Tectona grandis* L.f) sebagai bahan pembuatan karbon aktif untuk mengetahui mekanisme yang terjadi antara karbon aktif dan formaldehida. Karbon aktif yang dihasilkan adalah sebesar 53,11 %, dengan kadar air 1,43 %, kadar abu 7,07 %, kadar zat terbang 6,07 %, dan kadar karbon 86,85 %. Daya serap terhadap yodium dan metilen biru sebesar 1196,6 dan 319,2 mg/g, daya serap terhadap uap benzena dan formaldehida 21,75 dan 48,12 % serta luas permukaan sebesar 1183,4 m²/g. Daya serap karbon aktif terhadap formaldehida lebih besar dibandingkan

benzena. Penambahan karbon aktif sebanyak 2% dapat menurunkan emisi formaldehida sebanyak 0,167 mg/L (setara 167 ppm), dan penambahan karbon aktif berikutnya sebanyak 2 % sampai 8 % menyebabkan penurunan emisi formaldehida yang lebih kecil. Hal ini dapat disebabkan karena karbon aktif bersifat polar dan basa serta bermuatan positif sehingga mampu mengabsorpsi formaldehida yang juga bermuatan negatif dan juga bersifat polar. Karbon aktif yang digunakan pada penelitian ini adalah karbon aktif granular, karbon aktif granular memiliki daya adsorben yang sama tingginya dengan karbon aktif filter karena memiliki mikropori yang besar dibandingkan dengan adsorben lain seperti two singlewalled carbon nanotubes (SWNT) (Shujuanzhang *et al.*, 2010).

Bentuk partikel dan struktur mikro dari permukaan pori karbon aktif dapat digambarkan dengan fotograf SEM (*scanning electron microscope*). Hasil SEM menunjukkan bahwa diameter permukaan pori karbon aktif berkisar antara 1,3 – 1,6 μm yang termasuk ke dalam struktur makropori. Selama proses aktivasi, lempeng karbon kristalit atau celah menjadi tidak teratur dan mengalami pergeseran sehingga permukaan kristalit atau celah menjadi terbuka. Hal ini disebabkan karena gas pengaktif mendorong residu hidrokarbon seperti ter, fenol, metanol, dan senyawa lain yang menempel pada permukaan arang. Pergeseran lempeng karbon kristalit selain membentuk pori baru, juga mengembangkan ukuran pori yang sudah ada, sehingga dari mikropori menjadi makropori (Gustan *et al.*, 2004). Perubahan dari makropori menjadi mikropori inilah yang memungkinkan

karbon aktif dapat menyerap formaldehida dan senyawa kimia lain dari pewangi ruangan yang didedahkan.

Daya serap karbon aktif merupakan suatu akumulasi atau terkonsentrasinya komponen di permukaan karbon aktif (Lempang, 2014). Terkonsentrasinya komponen di permukaan karbon aktif dapat disebabkan karena adanya gaya tarik-menarik antar molekul, ion atau atom akibat terjadinya ketidakseimbangan gaya pada permukaan karbon aktif. Gaya tarik menarik ini disebut dengan gaya *Van der Waals*, adanya gaya *Van der Waals* menyebabkan karbon aktif dapat menarik molekul lain hingga keseimbangannya tercapai (Manocha, 2003). Hal – hal tersebutlah yang dapat menyebabkan karbon aktif pada kelompok karbon pewangi (P3) dapat mengadsorpsi formaldehida sehingga gambaran histologi diameter alveolusnya lebih lebar dibandingkan dengan kelompok pewangi (P1) yang hanya didedahkan pada pewangi ruangan.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa diameter alveolus pada kelompok kontrol (K) memiliki ukuran yang paling lebar dibandingkan kelompok lain. Hal ini dapat disebabkan karena kelompok kontrol (K) tidak mendapatkan perlakuan apapun, sehingga tidak terjadi penebalan septum interalveolaris.

Kelompok karbon aktif (P2) memiliki ukuran diameter yang lebih kecil dibandingkan kelompok kontrol. Hasil tidak sesuai dengan penelitian yang dilakukan Jing, *et al* (2008) yang menyatakan bahwa karbon aktif dapat menghilangkan bau busuk dan zat berbahaya di udara yang

memungkinkan kelompok karbon aktif (P2) memiliki diameter yang paling lebar karena tercegah dari terjadinya penebalan septum interalveolaris akibat peradangan dari zat berbahaya yang terdapat dalam ruangan. Hasil ini dapat disebabkan karena pembuatan karbon aktif melalui proses kimia atau fisika, yang kemungkinan dapat memberi efek buruk pada organ pernapasan. Selain itu, karbon aktif yang digunakan dapat mengalami kejenuhan karena lamanya waktu pemakaian atau telah tercapainya kesetimbangan gaya pada permukaan karbon aktif. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa karbon aktif yang mengalami kejenuhan dapat menyebabkan terjadinya desorpsi, yaitu pelepasan kembali zat – zat kimia yang telah diadsorpsi, seperti zat amoniak yang dihasilkan dari urin tikus dan senyawa polutan lain yang terserap oleh karbon aktif selama penelitian. Proses desorpsi inilah yang dapat menyebabkan tikus putih pada kelompok karbon aktif (P2) menghirup lebih banyak senyawa kimia dibandingkan dengan kelompok kontrol (K). Namun, meskipun karbon aktif yang digunakan kemungkinan sudah mengalami kejenuhan yang dapat menyebabkan proses desorpsi, perbedaan lebar diameter kelompok karbon aktif (P2) dan kelompok kontrol (K) tetap tidak signifikan secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa karbon aktif relatif aman digunakan sebagai adsorben *indoor pollution*.

3. Penghitungan Jumlah dari Jenis – Jenis Sel Radang

a. Inflamasi

Stimulus (rangsangan) eksogen dan endogen secara terus – menerus dapat menyebabkan jejas pada sel yang dapat menimbulkan

reaksi kompleks yang dinamakan inflamasi (peradangan). Meskipun inflamasi dapat membantu membersihkan infeksi dan proses perbaikan, namun inflamasi juga sangat berpotensi menimbulkan bahaya (Kumar *et al.*, 2007). Inflamasi terbagi menjadi dua, yaitu inflamasi akut dan inflamasi kronik. Inflamasi akut adalah peradangan yang berlangsung relatif singkat, yang ditandai dengan akumulasi neutrofil yang menonjol, sedangkan inflamasi kronik adalah peradangan yang berlangsung lebih lama yang didominasi oleh limfosit dan makrofag (Kumar *et al.*, 2007).

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada kelompok kontrol (K) dan kelompok karbon aktif (P2), didominasi oleh sel – sel radang akut. Sedangkan pada kelompok pewangi (P1) dan kelompok karbon pewangi (P3) didominasi oleh sel – sel radang kronik. Hasil pada kelompok kontrol (K) dan kelompok karbon aktif (P2) tidak sesuai dengan hipotesis, jika sesuai dengan hipotesis seharusnya pada kelompok kontrol (K) dan kelompok karbon aktif (P2) tidak terdapat sel radang. Pada penelitian ini, penggantian sekam dilakukan dua hari sekali, sehingga peradangan akut pada kedua kelompok ini dapat disebabkan oleh inhalasi zat amoniak yang terdapat di dalam urin hewan uji.

Amoniak (NH_3) adalah gas yang sangat reaktif. Amoniak merupakan salah satu dari bahan kimia beracun yang paling berlimpah (Makarovsky *et al.*, 2008). Toksisitas amoniak kemungkinan besar terjadi melalui inhalasi, karena organ pulmo merupakan salah satu organ yang paling rentan mengalami inflamasi karena banyak mengandung

pembuluh darah, luas permukaan yang besar, dan interaksi langsung dengan atmosfer (Ali *et al.*, 2012). Penyerapan utama amoniak terjadi pada saluran pernapasan bagian atas, namun juga dapat diserap hingga pernapasan bagian bawah dan mencapai pulmo (Liesivuori, 2005). Inhalasi zat toksik seperti amoniak dapat menyebabkan kerusakan pada sistem pernapasan, seperti inflamasi akut dan edema pada pulmo (Ali *et al.*, 2012). Inflamasi akut adalah radang yang berlangsung relatif singkat dari beberapa menit hingga beberapa hari, yang ditandai dengan eksudasi cairan dan protein plasma serta akumulasi leukosit neutofil yang menonjol (Kumar *et al.*, 2007). Penggantian sekam padi pada kandang pemeliharaan tikus setiap dua hari sekali meminimalkan paparan zat amoniak secara terus menerus pada hewan uji, sehingga inflamasi yang disebabkan zat amoniak dari urin hewan uji masih bersifat akut.

Inflamasi akut ini dapat disebabkan oleh mekanisme resolusi yang terjadi ketika kandang pemeliharaan dalam kondisi bersih (Widyastuti, 2015). Proses resolusi ini terjadi pada kondisi cedera yang luasnya terbatas, berlangsung singkat dengan kerusakan jaringan minimal, serta baiknya kemampuan dalam mengganti sel yang rusak. Proses ini meliputi pembuangan mediator inflamasi, normalitas vaskular, berhentinya emigrasi leukosit, dan apoptosis leukosit. Pada akhirnya, terjadi proses normalitas jaringan baik secara histologis maupun fungsional (Kumar *et al.*, 2007). Teori di atas sesuai dengan gambaran histologi pulmo pada kelompok kontrol (K) dan kelompok karbon aktif

(P2), dimana terdapat sel radang yang relatif sedikit dengan dominasi sel neutrofil dan tidak terdapat penebalan septum interalveolaris, yang menandakan adanya proses inflamasi akut ringan akibat adanya mekanisme resolusi karena senyawa kimia yang didedahkan minimal dan tidak secara terus – menerus.

Faktor lain yang dapat menyebabkan terjadinya inflamasi akut pada kelompok kontrol (K) dan kelompok karbon aktif (P2) adalah kondisi Laboratorium Hewan FKIK di UMY yang padat, berdebu dan sangat minim ventilasi sehingga pertukaran udara tidak berjalan dengan baik. Selain itu, di Laboratorium ini juga terdapat banyak hewan uji lain yang mendapatkan perlakuan dan sangat jarang dibersihkan, sehingga mempengaruhi kualitas udara di dalam ruangan. Kelompok kontrol (K) selalu berada di dalam Laboratorium Hewan Uji sedangkan kelompok karbon aktif (P2) dikeluarkan dari Laboratorium selama 8 jam setiap harinya untuk dipindahkan ke kandang perlakuan. Meskipun demikian, kelompok karbon aktif (P2) tetap mengalami inflamasi akut yang jumlah sel – sel radangnya tidak berbeda secara signifikan dengan kelompok kontrol (K), hal ini kemungkinan disebabkan karena karbon aktif yang digunakan sudah mengalami penurunan adsorpsi hingga kejenuhan sehingga tidak dapat menyerap polutan selama penelitian lagi.

Terdeposisinya urin hewan uji yang mengandung amoniak dan terpaparnya polusi udara di dalam Laboratorium Hewan Uji tidak hanya terjadi pada kelompok kontrol (K) dan kelompok karbon aktif (P2) saja,

tetapi juga pada kelompok pewangi (P1) dan kelompok karbon pewangi (P3). Namun, infiltrasi sel radang pada kelompok pewangi (P1) dan kelompok karbon pewangi (P2) lebih banyak dibandingkan dengan kelompok kontrol (K) dan kelompok karbon aktif (P2) yang disertai dengan penebalan septum interalveolaris. Sel radang pada kelompok pewangi (P1) dan kelompok karbon pewangi didominasi oleh sel radang limfosit, histiosit, dan sel plasma yang menandakan adanya inflamasi kronik.

Inflamasi kronik adalah inflamasi yang terjadi dalam jangka waktu yang lama, berminggu – minggu, berbulan – bulan hingga bertahun – tahun. Pada inflamasi kronik, ditandai dengan infiltrasi sel mononuklear yang mencakup makrofag, limfosit, dan sel plasma, terjadinya destruksi jaringan yang sebagian besar diatur oleh sel radang, serta adanya *repair* (perbaikan) yang melibatkan proliferasi pembuluh darah baru (*angiogenesis*) dan fibrosis. Inflamasi kronik dapat terjadi karena adanya infeksi virus, infeksi mikroba yang persisten, penyakit autoimun, dan paparan yang lama terhadap agen yang berpotensi toksik (Kumar *et al.*, 2007). Pada kelompok pewangi (P1) dan kelompok karbon pewangi (P3), didedahkan pewangi dengan kandungan formaldehida sebesar 0,62 ppm dan senyawa kimia lainnya yang terkandung dalam pewangi selama 35 hari, hal inilah yang dapat menyebabkan terjadinya radang kronik pada kedua kelompok ini.

Mediator utama pada inflamasi kronik adalah histiosit (makrofag). Makrofag merupakan sel jaringan yang berasal dari monosit dalam sirkulasi setelah beremigrasi dari aliran darah. Jenis sel lain yang muncul pada inflamasi kronik adalah limfosit, sel plasma, dan eosinofil. Pada proses inflamasi kronik, limfosit teraktivasi akan menghasilkan berbagai mediator, seperti IFN- γ yang merupakan sitokin perangsang utama untuk mengaktivasi monosit dan makrofag. Sedangkan sel plasma merupakan produk akhir dari sel aktivasi sel B yang mengalami diferensiasi akhir (Kumar *et al.*, 2007). Selain itu, pada sel inflamasi kronik juga terdapat eosinofil yang khusus ditemukan pada inflamasi yang terjadi akibat infeksi parasit dan reaksi imun yang diperantarai oleh IgE yang berkaitan dengan alergi (Kumar *et al.*, 2007).

Jumlah sel eosinofil pada kelompok pewangi (P1) paling banyak dibandingkan dengan kelompok lain, hal ini dapat disebabkan karena terjadinya proses alergi yang menimbulkan asma karena adanya paparan senyawa kimia formaldehida. Ambang batas paparan formaldehida menurut WHO adalah sebesar 0,08 ppm. Paparan yang melebihi ambang batas tersebut dapat menyebabkan peningkatan aktivitas IgE (Gu *et al.*, 2008). Peningkatan aktivitas IgE ini identik dengan kejadian asma yang dapat menyebabkan eosinofil pada darah juga meningkat. Eosinofil yang menumpuk menimbulkan beragam efek, ragam mediator eosinofil sama banyaknya dengan sel mast dan mencakup *major basic protein* (MBP) dan *protein kationik eosinofil* atau *eosinophil cationoc protein* (ECP)

yang bersifat toksik terhadap sel epitel. Peroksidase eosinofil juga menyebabkan kerusakan jaringan melalui stres oksidatif (Kumar *et al.*, 2007).

Hasil uji analisis pada jumlah sel radang pada kelompok pewangi (P1) dan kelompok karbon pewangi (P3) yang mengalami inflamasi kronik, masih terdapat infiltrasi sel radang akut neutrofil. Pada inflamasi kronik, masih bisa terdapat infiltrasi neutrofil yang luas, hal ini disebabkan karena adanya mikroba atau mediator yang dielaborasi oleh makrofag atau sel nekrotik. Keadaan ini disebut dengan inflamasi kronik akut.

Pada uji *post hoc* Duncan, jumlah sel radang pada kelompok pewangi (P1) lebih besar dibandingkan dengan kelompok karbon pewangi (P3) meskipun tidak secara signifikan. Perbedaan antara kedua kelompok ini tidak signifikan secara statistik dapat disebabkan karena pada kelompok karbon pewangi (P3) juga didedahkan pewangi ruangan yang mengandung formaldehida dan senyawa kimia lain, sehingga senyawa kimia yang harus diserap karbon aktif pada kelompok ini cukup banyak. Perbedaan jumlah sel radang pada kelompok karbon pewangi (P3) berbeda secara signifikan dengan kelompok kontrol (K) dan kelompok karbon aktif (P2), hal ini disebabkan karena pada kelompok kontrol (K) dan kelompok karbon aktif (P2) tidak diberikan paparan pewangi ruangan.

b. Fibrosis

Makrofag bertindak sebagai penyaring terhadap bahan yang berukuran partikel, mikroba, dan sel – sel yang mengalami proses kematian. Sinyal aktivasi mencakup sitokin yang disekresi oleh limfosit T yang tersensitisasi (terutama IFN- γ), endotoksin bakteri, berbagai mediator yang dihasilkan selama inflamasi akut, dan protein matriks ekstraseluler seperti fibronektin. Setelah aktivasi, makrofag menyekresi produk yang aktif secara biologis dalam jumlah yang beragam, yang apabila tidak diawasi dapat menyebabkan jejas jaringan dan menimbulkan tanda fibrosis inflamasi kronik (Kumar *et al.*, 2007).

Pada saat terjadi inflamasi kronik, sel radang juga dapat menghasilkan mediator yang meningkatkan sintesis matriks ekstraseluler (ECM) yang baru. Matriks ekstraseluler (ECM) merupakan suatu kompleks makromolekul yang penting dalam penyusunan setiap jaringan.

Pada kelompok pewangi (P1) dan karbon pewangi (P3) dalam penelitian ini, terjadi proses inflamasi kronik akut. Senyawa kimia toksik pada pewangi ruangan akan meningkatkan produksi radikal bebas (ROS) sehingga memacu inflamasi kronik. Namun, akibat pendedahan yang terus menerus dilakukan, agen toksik tersebut dapat memunculkan proses peradangan yang baru dan bersifat akut sehingga dapat merusak ECM yang baru terbentuk (Kumar *et al.*, 2007).

ECM dalam bentuk membrana basalis memiliki fungsi sebagai dasar untuk memperbaharui jaringan. Keutuhan membrana basalis pada jaringan yang mengalami cedera, sangat penting untuk regenerasi sel –

sel jaringan. Jika membrana rusak, maka proliferasi sel akan kacau sehingga menghasilkan jaringan yang tidak terorganisir dan nonfungsional seperti jaringan parut. Selain itu, adanya eksudat fibrinosa yang meluas akibat peningkatan permeabilitas vaskular tidak mampu diabsorpsi dengan baik dan terjadi pertumbuhan ke dalam dari jaringan ikat yang menyebabkan fibrosis atau jaringan parut (Kumar *et al.*, 2007).

c. Emfisema

Penelitian ini juga menunjukkan proses emfisema yang ditandai dengan adanya gambaran alveoli yang berdilatasi. Alveoli adalah bentuk jamak dari alveolus. Emfisema ditandai dengan pembesaran permanen rongga udara yang terletak pada bagian distal bronkiolus terminal disertai dengan destruksi dinding rongganya atau disebut dengan *overinflation* (Kumar *et al.*, 2007). Selain itu, emfisema juga ditandai dengan kondisi dimana terdapat udara yang berlebihan di dalam paru – paru akibat proses obstruktif dan destruktif paru. Hilangnya sebagian besar dinding alveolus akan menurunkan kapasitas difusi paru yang menyebabkan terjadinya penurunan ekspirasi udara. Udara yang terperangkap di dalam alveolus akan menyebabkan beberapa alveolus yang berdekatan menyatu membentuk alveoli. Akibat tekanan udara yang tinggi, alveoli akan sangat meregang dan membentuk kavum emfisema yang besar (Guyton & Hall, 2007).

Dalam penelitian ini, destruktif dinding alveolus dapat disebabkan oleh proses fibrosis. Proses fibrosis dapat merusak serat

elastin dan retikulin penyusun septum interalveolaris. Adanya serat retikulin berfungsi sebagai pencegahan pengembangan alveolus yang berlebihan (Janquiera & Carneiro, 2009). Apabila serat retikulin mengalami kerusakan, maka alveolus pulmo akan cenderung meregang, melebar, penuh dengan udara, dan menjadi gambaran kavum emfisema yang besar (Widyastuti, 2015). Pada kelompok pewangi (P1) dan kelompok karbon pewangi (P2) terlihat adanya emfisema, yang dapat disebabkan karena adanya proses fibrosis akibat paparan senyawa formaldehida dari pewangi ruangan. Proses fibrosis dan emfisema masih terjadi pada kelompok karbon pewangi (P2) meskipun sudah diberikan karbon aktif, hal ini dapat disebabkan karena paparan yang terus menerus selama 35 hari dari pewangi ruangan sehingga menyebabkan inflamasi kronis yang memacu terjadinya fibrosis dan pelepasan kembali formaldehida ke udara karena harus berkompetisi dengan senyawa kimia lain yang juga teradsorpsi oleh karbon aktif (Shin & Song, 2011).

Faktor kedua yang menyebabkan masih terjadinya fibrosis dan emfisema pada kelompok karbon pewangi (P2) adalah proses adsorpsi karbon aktif yang digunakan. Selama penelitian, karbon aktif telah digunakan selama 280 jam yang dapat menurunkan daya adsorpsi atau terjadinya kejenuhan pada karbon aktif. Jika terjadi kejenuhan, karbon aktif tidak mampu lagi menyerap formaldehida dan senyawa kimia lain yang didedahkan pewangi ruangan. Selain itu, karbon aktif juga dapat mengalami proses desorpsi yang mengakibatkan kadar senyawa kimia

seperti formaldehida pada kelompok karbon pewangi (P2) tidak jauh berbeda dengan kelompok pewangi (P1).

Faktor ketiga yaitu mutu karbon aktif yang digunakan. Mutu karbon aktif sangat tergantung dari bahan baku yang digunakan, bahan pengaktif, suhu dan cara pengaktifannya. Mutu tersebut dapat mempengaruhi daya adsorpsi pada setiap karbon aktif (Lempang, 2014). Dalam penelitian ini, karbon aktif yang digunakan adalah karbon aktif berbentuk granular yang dibeli di pasaran. Peneliti tidak mengetahui bahan dan metode pengaktifan yang digunakan dalam proses pembuatannya, sehingga tidak dapat diketahui mutu dan daya adsorpsi dari karbon aktif granular ini.

Jika diamati dari hasil penelitian ketiga variabel di atas, didapatkan hasil secara umum bahwa gambaran histologi kelompok karbon pewangi (P3) lebih baik jika dibandingkan dengan kelompok pewangi (P1), yang menunjukkan karbon aktif memiliki pengaruh positif terhadap pengurangan kerusakan pulmo akibat pewangi ruangan. Selain itu, perbedaan hasil antara kelompok kontrol (K) dengan kelompok karbon aktif (P2) tidak berbeda secara signifikan dalam setiap variabel. Hal ini menunjukkan bahwa karbon aktif relatif aman digunakan sebagai adsorben *indoor pollution* yang dihasilkan oleh pewangi ruangan.