

Rumpun Ilmu : Biomedis

LAPORAN PENELITIAN



**PENGARUH CARBON AKTIF DALAM MENGURANGI
KERUSAKAN JARINGAN SISTEM REPRODUKSI JANTAN
YANG DISEBABKAN OLEH *INDOOR POLLUTION***

oleh:

**Yuningtyaswari, S.Si.M.Kes
(NIDN : 0521096901)**

**Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta**

**Dibiayai melalui Dana Penelitian DIPA Kopertis Wilayah V
Tahun Anggaran 2015**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
KOORDINASI PERGURUAN TINGGI SWASTA WILAYAH V
YOGYAKARTA
2015**

DAFTAR ISI

Halaman Sampul	i
Halaman Pengesahan	ii
Daftar Isi	iii
Ringkasan	v
Bab I Pendahuluan	
A. Latar belakang	1
B. Perumusan Masalah	2
C. Hipotesis	2
D. Tujuan Penelitian	2
E. Target Luaran	3
F. Kontribusi terhadap Ilmu Pengetahuan	3
Bab II Tinjauan Pustaka	
A. Carbon Aktif	4
B. Sistem Reproduksi Jantan	5
C. Indoor Pollution	12
D. Manfaat Carbon aktif dan Risikonya terhadap Kesehatan.....	14
E. Kerangka Konsep	17
Bab III Metode Penelitian	
A. Tahap-tahap Penelitian	18
B. Lokasi Penelitian	19
C. Variabel Penelitian	19
D. Subyek Penelitian	20
E. Rancangan Penelitian	20
F. Teknik Pengumpulan Data dan Analisis Data.....	20
G. Alur Penelitian	21
Bab IV Hasil dan Pembahasan	
A. Gambaran Umum Penelitian	22
B. Hasil Penelitian	23
C. Pembahasan	31
Bab V Kesimpulan dan Saran	
A. Kesimpulan	40
B. Saran	40
Daftar Pustaka	41
Lampiran	

RINGKASAN

Saat ini kebutuhan udara yang segar dan bersih semakin sulit diperoleh, baik itu udara dalam ruangan (*indoor*), maupun udara terbuka (*outdoor*). Salah satu usaha untuk menyerap bau tidak sedap akibat *indoor pollution* adalah dengan menggunakan carbon aktif penyerap bau. Produk ini dalam kehidupan sehari-hari sering digunakan di dalam kabin mobil. Kapasitas adsorpsi carbon aktif dipengaruhi oleh bahan dasar yang digunakan serta proses pembuatannya. Carbon aktif yang dipasarkan pada umumnya tidak mencantumkan bahan dasar yang digunakan serta komposisinya. Oleh karena itu belum diketahui pula kapasitas kemampuan penyerapannya terhadap *indoor pollution*. Jika ternyata pada proses pembuatan carbon aktif tersebut melibatkan bahan kimia, maka berpotensi untuk mengganggu kesehatan.

Selain itu, pewangi ruangan juga banyak digunakan orang untuk memperoleh udara ruangan yang wangi dan segar. Pewangi ruangan mengandung beberapa senyawa volatil organik (VOC) yang membahayakan kesehatan, dari sistem respirasi bahkan system reproduksi. Senyawa-senyawa tersebut antara lain formaldehid, benzena, toluene, phthalate dll. Jadi sebenarnya komponen yang terdapat di dalam pewangi ruangan justru menjadi salah satu agen *indoor pollution*.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji keamanan carbon aktif sebagai adsorben agen *indoor pollution*, serta kemampuannya dalam mengurangi risiko kerusakan jaringan sistem reproduksi jantan melalui pengamatan histologi organ sistem reproduksi jantan .

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental murni, dengan pendekatan *Post Test Only Control Group Design*. Penelitian dilakukan secara *in vivo* pada hewan coba *Rattus norvegicus* jantan berumur 2 bulan. Agen *indoor pollution* yang digunakan adalah pewangi ruangan mobil. Adsorben *indoor pollutant* yang digunakan adalah carbon aktif penyerap bau ruangan tertutup. Pemberian perlakuan *indoor pollution* dan adsorben carbon aktif dilakukan 8 jam/hari selama 30 hari berturut-turut. Parameter yang diamati untuk menguji keamanan dan kemampuan carbon aktif dalam mengurangi dampak negatif *indoor pollution* adalah gambaran histologi organ sistem reproduksi jantan (testis). Variabel histology testis yang diamati meliputi : diameter tubulus seminiferous dan jumlah spermatozoa pada bagian cauda epididymis.

Hasil penelitian ini belum sepenuhnya mengungkap keamanan penggunaan carbon aktif sebagai adsorben agen *indoor pollution* terhadap kesehatan, khususnya terhadap histologi system reproduksi jantan. Meski demikian, carbon aktif berpotensi sebagai adsorben agen *indoor pollution* dalam mengurangi risiko kerusakan jaringan organ sistem reproduksi jantan akibat *indoor pollution*

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Pada saat ini kebutuhan udara yang segar dan bersih semakin sulit diperoleh, baik itu udara dalam ruangan (*indoor*), maupun udara terbuka (*outdoor*). Keadaan dan situasi sekarang tak jarang membuat orang memilih menggunakan produk yang praktis demi memperoleh udara *indoor* yang terasa segar. Salah satu produk fabrikasi yang mulai banyak digunakan sebagai penyerap *indoor pollutant* adalah carbon aktif (arang aktif). Penggunaan carbon aktif di masyarakat, umumnya untuk menyerap bau tidak sedap di dalam ruangan maupun kabin mobil.

Kita tidak mengetahui proses pembuatan carbon aktif tersebut, apakah benar secara pembakaran alami ataukah melibatkan bahan-bahan kimia. Jika melibatkan bahan-bahan kimia, tentu saja carbon yang dihasilkan akan berisiko terhadap kesehatan.

Bahan baku yang digunakan sebagai bahan pembuatan carbon aktif berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi carbon aktif yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan penelitian dari Raharjo, D, *et.all* (2012). Pada penelitian oleh Wuntu, AD & Kamu, VS (2008) disebutkan bahwa carbon aktif tempurung kelapa berkemampuan untuk menyerap aseton, toluene dan benzene di dalam ruang tertutup. Bahan baku yang digunakan untuk membuat carbon aktif yang banyak beredar secara bebas di toko/supermarket tidak diketahui. Berkait dengan hal tersebut, maka belum diketahui pula seberapa efektif daya adsorpsinya.

Salah satu sumber *indoor pollution* yang umumnya tidak dianggap sebagai sumber polutan adalah pewangi ruangan. Di dalam pewangi ruangan terkandung berbagai senyawa kimia, antara lain *volatil organic compound* (VOC), formaldehid, benzene, toluene, phthalate dan lain-lain yang berbahaya karena dapat merusak struktur jaringan organ tubuh mulai dari system respirasi, bahkan sampai ke system reproduksi. Dalam Yuningtyaswari (2013) disebutkan bahwa pendedahan pewangi ruangan dapat menyebabkan berkurangnya konsentrasi spermatozoa dan diameter tubulus seminiferus testis.

Hasil riset terkait dengan keamanan penggunaan carbon aktif masih menjadi kontroversi, sehingga diperlukan penelitian untuk mendapatkan jawabannya. Di samping itu, penelitian ini perlu dilakukan juga karena belum ada riset yang membuktikan bahwa carbon aktif mampu

mengurangi risiko kerusakan histologi organ sistem reproduksi yang disebabkan oleh *agen indoor pollution* khususnya pewangi ruangan.

B. PERUMUSAN MASALAH

1. Apakah penggunaan carbon aktif sebagai adsorben agen *indoor pollution* benar-benar aman terhadap kesehatan khususnya organ sistem reproduksi jantan (testis)?
2. Apakah penggunaan carbon aktif sebagai adsorben agen *indoor pollution* mampu menyerap *indoor pollutant* yang tercermin dari berkurangnya risiko kerusakan jaringan organ sistem reproduksi jantan(testis)?

C. HIPOTESIS

1. Penggunaan carbon aktif sebagai adsorben agen *indoor pollution* adalah aman bagi kesehatan, yang dibuktikan melalui pengamatan histologi organ sistem reproduksi jantan
2. Carbon aktif sebagai adsorben agen *indoor pollution* mampu mengurangi risiko kerusakan jaringan organ sistem reproduksi jantan akibat *indoor pollution*.

D. TUJUAN PENELITIAN

1. Membuktikan keamanan penggunaan carbon aktif sebagai adsorben agen *indoor pollution* terhadap kesehatan melalui pengamatan histologi (jaringan) organ sistem reproduksi jantan.
2. Mengungkap kemampuan carbon aktif sebagai adsorben agen *indoor pollution* dalam mengurangi risiko kerusakan jaringan organ sistem reproduksi jantan akibat *indoor pollution*.

E. TARGET LUARAN

1. Diperoleh gambaran mengenai aman tidaknya penggunaan carbon aktif sebagai adsorben agen *indoor pollution* terhadap kesehatan melalui pengamatan histologi organ sistem reproduksi jantan.
2. Diperoleh petunjuk mengenai kemampuan carbon aktif sebagai adsorben agen *indoor pollution* dalam mengurangi risiko kerusakan histologi organ sistem reproduksi jantan akibat *indoor pollution*.

3. Publikasi ilmiah terkait keamanan dan kemampuan carbon aktif sebagai adsorben agen *indoor pollution* dalam mengurangi risiko kerusakan histologi organ sistem reproduksi jantan akibat *indoor pollution*.

F. KONTRIBUSI TERHADAP ILMU PENGETAHUAN

Hasil penelitian ini diharapkan memberi kontribusi :

1. Memperkaya wacana ilmu pengetahuan tentang risiko penggunaan carbon aktif sebagai adsorben agen *indoor pollution* terhadap kesehatan
2. Memperkaya wacana ilmu pengetahuan tentang kemampuan carbon aktif sebagai adsorben agen *indoor pollution* dalam mengurangi risiko kerusakan histologi organ sistem reproduksi jantan akibat *indoor pollution*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Carbon Aktif

Karbon aktif adalah karbon yang di proses sedemikian rupa sehingga pori – porinya terbuka, sehingga mempunyai daya serap yang tinggi. Keaktifan daya menyerap dari karbon aktif ini tergantung dari jumlah senyawa karbonnya yang berkisar antara 85 % sampai 95% karbon bebas. Karbon aktif yang berwarna hitam, tidak berbau, tidak terasa dan mempunyai daya serap yang jauh lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif yang belum menjalani proses aktivasi, serta mempunyai permukaan yang luas, yaitu memiliki luas antara 300 sampai 2000 m²/gram (Anonim, 2011)

Karbon aktif merupakan suatu bentuk arang yang telah melalui aktivasi dengan menggunakan gas CO₂, uap air atau bahan-bahan kimia sehingga pori-porinya terbuka dan dengan demikian daya absorpsinya menjadi lebih tinggi terhadap zat warna dan bau. Karbon aktif mengandung 5 sampai 15 persen air, 2 sampai 3 persen abu dan sisanya terdiri dari karbon. Karbon aktif berbentuk amorf terdiri dari pelat-pelat datar, disusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal datar dengan satu atom C pada setiap sudutnya. Pelat-pelat tersebut bertumpuk-tumpuk satu sama lain membentuk kristal-kristal dengan sisa hidrokarbon, terdapat senyawa organik lain yang tertinggal pada permukaannya. Bahan baku karbon aktif dapat berasal dari bahan nabati atau turunannya dan bahan hewani. Mutu karbon aktif yang dihasilkan dari tempurung kelapa mempunyai daya serap tinggi, karena arang ini berpori-pori dengan diameter yang kecil, sehingga mempunyai internal yang luas. Ada 2 tahap utama proses pembuatan karbon aktif yakni proses karbonasi dan proses aktivasi. Pada umumnya karbon aktif dapat di aktivasi dengan 2 (dua) cara, yaitu dengan cara aktivasi kimia dan aktivasi fisika (Anonim, 2011).

Ada banyak bahan baku yang dapat dijadikan bahan dasar untuk pembuatan arang (Carbon) aktif, seperti tempurung kelapa, tongkol jagung, sekam padi, kulit singkong dan tandan kosong kelapa sawit. Arang aktif yang berasal dari bahan dasar yang berbeda akan mempunyai kapasitas/efektifitas adsorpsi yang berbeda pula. Penelitian dari Wuntu, AD & Kamu, VS (2008) menggunakan tempurung kelapa sebagai bahan dasar pembuatan carbon aktif untuk meneliti kapasitasnya dalam menyerap toluene, aseton dan benzene. Arang aktif yang berasal dari bahan

dasar yang berbeda akan mempunyai kapasitas/efektifitas adsorpsi yang berbeda pula. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Nayoan, CR & Berek, NC (2003) yang membandingkan efektifitas karbon aktif tempurung kelapa dan arang kayu sebagai adsorben limbah cair. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa ada kecenderungan carbon aktif dari tempurung kelapa lebih efektif mengadsorpsi limbah.

Penelitian dari Wuntu, AD & Kamu, VS (2008) menggunakan tempurung kelapa sebagai bahan dasar pembuatan carbon aktif untuk meneliti kapasitasnya dalam menyerap toluene, aseton dan benzene.

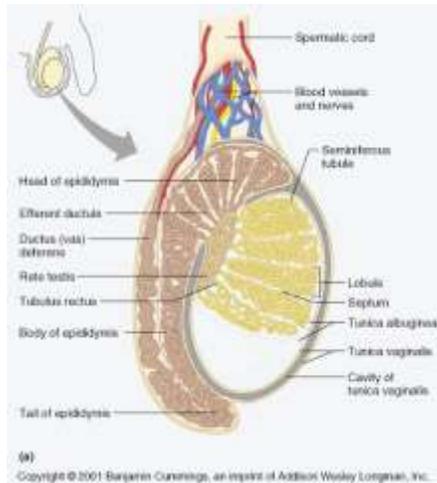
Toluene, aseton dan benzene merupakan beberapa komponen yang terkandung di dalam pewangi ruangan.

B. Sistem Reproduksi Jantan

Sistem reproduksi jantan terdiri atas testis, saluran dari testis, kelenjar-kelenjar yang berhubungan dengan sistem reproduksi dan penis (Leeson, 1996).

Testis merupakan glandula reproduksi pada pria yang setara dengan ovarium pada wanita. Testis terbungkus dalam 3 lapisan skrotum yaitu tunika vaginalis, tunika albuginea dan tunika vaskulosa (Waugh, 2001).

Testis merupakan kelenjar ganda, karena secara fungsional bersifat endokrin dan eksokrin. Bagian endokrin menghasilkan secret internal seperti hormon yang dilepaskan sel-sel khusus. Bagian eksokrin menghasilkan sel kelamin (sel benih), sehingga testis dianggap sebagai kelenjar sitogenik. (Leeson, 1996).



Gambar 1. Anatomi testis (Smith, *et al.*, 2001)

Septa jaringan ikat tipis mediastinum testis membagi setiap testis kedalam sekitar 250 kompartemen atau lobuli testi yang masing-masing mengandung satu sampai empat tubulus seminiferus. Setiap Tubulus seminiferus dilapisi oleh epitel germinal berlapis, mengandung sel-sel spermatogenik (germinal) yang berproliferasi dan sel penyokong (sustentakuler) atau sel sertoli yang tidak berproliferasi. Sel-sel spermatogenik menjadi matang dan diubah menjadi sperma matang di tubulus seminiferus ini. Setiap tubulus seminiferus dikelilingi fibroblast, sel mirip otot, saraf, pembuluh darah, dan pembuluh limfatik. Di antara tubulus seminiferus terdapat kelompok sel epiteloid, yaitu sel interstisial (Leydig) yang menghasilkan testosteron (Eroschenko, 2003).

B.1. Histologi Testis

a. Tubulus Seminiferus

Tubulus seminiferus berkapsul pada lapisan sel adventisial yang berasal dari sel-sel mesenkimal interstisium. Pada rodent laboratorium, terdapat satu lapisan tunggal sel poligonal yang tersusun secara kontinyu di sekitar tubulus seminiferus. Sel ini terdapat sel otot polos dan kontraktile, tetapi karena berbentuk atipikal dan epiteloid sel ini disebut sel *mioid*. Sel-sel ini bertanggung jawab pada kontraksi ritmik dangkal. Sel-sel mioid mempunyai reseptor untuk testosteron dan terbukti menghasilkan protein yang mempengaruhi pembentukan sel-sel pendukung dalam epitelium tubulus seminiferus (Fawcett, 2002).

Organisasi sel berlapis ini berbeda pada setiap spesies. Pada spesies yang lebih besar seperti biri-biri, babi dan sapi jantan, tubulus seminiferus berlapis pada sel adventisial. Sel paling dalam

menyerupai mioid tetapi tidak membentuk lapisan epiteloid secara kontinyu. Pada manusia dan monyet terdapat sel yang menyerupai adventisial tetapi tidak teramati kontraktilitas (Fawcett, 2002).

Epitel tubulus seminiferus juga dikelilingi oleh jaringan ikat fibrosa yang disebut jaringan peritubular yang mengandung serat-serat jaringan ikat dan sel-sel fibroblast (Junqueira, 2007).

Spermatozoid diproduksi di sel tubulus seminiferus dalam satu hari sekitar 8 miliar pada orang dewasa. Setiap testis terdiri dari 250-1000 tubulus seminiferus dan terukur diameternya sekitar 150-250 μm dan panjangnya 30-70 cm. Tubulus yang berbelit-belit dan memiliki bentuk membulat yang menyempit pada ujung lumen dan berlanjut pada segmen pendek, diketahui bernama *tubuli recti*. Tubulus itu akan menghubungkan tubulus seminiferus ke ductus eferen dan berakhir pada epididimis (Junqueira, 2009).

Tubulus seminiferus dilapisi epitelium bertingkat yang sangat kompleks yang mengandung sel-sel spermatogenik dan sel-sel penunjang. Terdapat 2 jenis sel penunjang yaitu *sel sertoli* dan sel-sel spermatogenik yang secara morfologi dapat dibedakan menjadi : *spermatogonia*, *spermatosit primer*, *spermatosit sekunder*, *spermatid* dan *spermatozoa*. Secara ontogenik tidak membedakan, tetapi menggambarkan stadium berturut-turut pada proses diferensiasi sel germinal yang kontinu (Fawcett, 2002).

b. Sel Sertoli

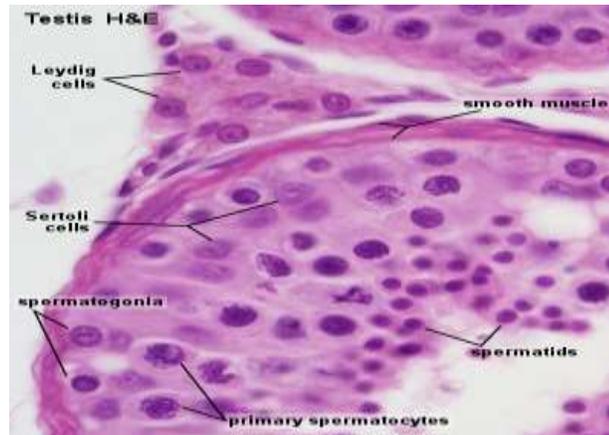
Sel sertoli berlapis epitel kubus. Pada penglihatan 3 dimensi, sel sertoli terlihat seperti piramid yang memanjang, dengan dasar di lamina basalis dan apeks mencapai lumen tubular. Sel ini memiliki nukleus yang eukromatik dan biasanya terdapat pada bagian basal. Inklusi khusus sel sertoli pada manusia adalah *kristaloid Charchot-Bottcher* (Bergman, 1996).

Sel ini tidak membelah pada saat kehidupan dewasa dan termasuk sel yang berpartisipasi dinamik pada sawar darah, fagositik sitoplasma residu, transport, sekretori, dan fungsi endokrin dari epitelium. Fungsi lainnya adalah pemberi nutrisi bagi sel-sel germinal. Pada sel ini terdapat spermatozoa bagian kepala dan ekornya bebas di sitoplasma (Bergman, 1996).

Fungsi yang paling menonjol dari sel ini adalah sebagai transport, sel ini menghasilkan protein *transferrin testicular* yang dipercaya menghantarkan besi ke sel germinal. Protein ini membawa besi terkait dalam darah, transferin serum, melekat dalam reseptor spesifik di dasar sel sertoli kemudian masuk ke dalam sitoplasma. Tidak hanya itu sel ini banyak menghasilkan protein

seperti protein essential yang mengikat androgen. Tetapi masih banyak yang belum diketahui (Fawcett, 2002).

Gambar berikut memperlihatkan histologi testis :



Gambar 2 Tubulus Seminiferus (Hill, 2010)

c. Jaringan Intertisial

Jaringan interstitial dari testis merupakan tempat yang penting untuk pembuatan hormon androgen. Jarak antara tubulus seminiferus diisi dengan jaringan konektif, saraf, kapilari fenestrata, dan saluran limfatik. Saat memasuki masa pubertas, akan ada tambahan sel yang berbentuk bulat poligonal dengan sitoplasma bersifat eosinofilik. Sel tersebut adalah sel leydig yang mempunyai karakteristik *steroid-secreting hormone* (Junqueira, 2009).

Sel Leydig berfungsi memproduksi hormon laki-laki yaitu testosteron. Testosteron berguna untuk spermatogenesis, pembedaan perkembangan sexual saat embrio dan perkembangan fetal, dan mengontrol sekresi gonadotropin. Dihidrotestosteron, metabolit yang disekresi sedikit oleh testis dan dibentuk dari transformasi enzim dari testosteron berkerja di banyak organ seperti otot dan rambut (Junqueira, 2009).

Sel Leydig mensekresi hormon pria testosteron yang dalam konsentrasi tinggi secara lokal berguna sebagai pemacu spermatogenesis pada tubulus seminiferus. Hormon ini juga mempengaruhi organ assesorius reproduksi pria seperti *vesika seminalis* dan *prostat*. (Fawcett, 2002).

Pembentukan hormon testosteron oleh sel-sel interstitial testis diinduksi oleh *Luteinizing Hormone* (LH). LH disekresi oleh hipofisis bersamaan dengan hormon *Folicle Stimulating*

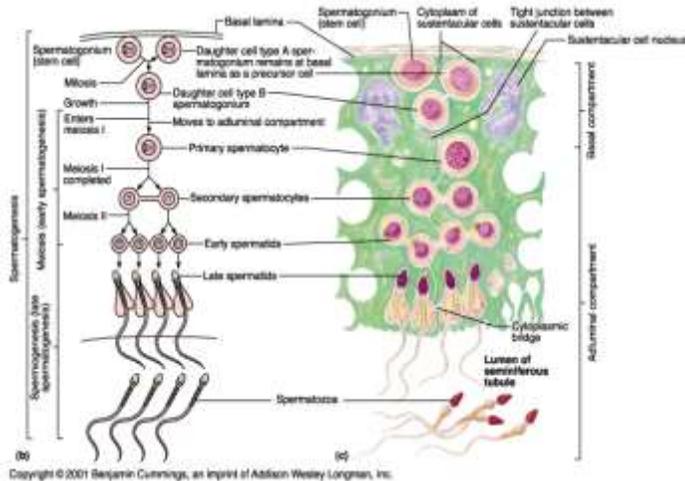
Hormone (FSH) untuk mempengaruhi sistem reproduksi. Fungsi dari FSH adalah meningkatkan keberadaan cAMP dengan cara merangsang adenil siklase pada sel Sertoli. FSH juga memudahkan sintesis dan sekresi protein pengikat-androgen yang nantinya bersamaan dengan testosterone masuk kedalam tubulus seminiferus guna menginduksi spermatogenesis. Spermatogenesis diinduksi testosterone dan dihambat estrogen dan progesteron (Junqueira, 2007).

B.2 Spermatogenesis

Spermatogenesis adalah proses pembentukan spermatozoid. Hal ini dimulai dengan sel primitif yaitu spermatogonium. Spermatogonium adalah sel kecil, berdiameter sekitar 12 μm , terletak di samping lamina basalis dari epitelium. Spermatogonium mulai membelah dengan cara mitosis, tetap membentuk generasi yang diploid dari sel. Hal itu akan terus berlanjut menjadi sel *stem* yang juga disebut spermatogonia tipe A, atau berlanjut menjadi sel *progenitor* atau yang juga disebut spermatogonia tipe B. Sel progenitor ini melanjutkan diferensiasi menjadi spermatosit primer. (Junqueira, 2009).

Mulai dari pertama kali pembelahan meiosis terbentuk sel yang lebih kecil disebut spermatosit sekunder dengan hanya 23 (22+X atau 22+Y) pada manusia. Pengurangan jumlah (dari 46 menjadi 23) ini diikuti dengan pengurangan DNA setiap sel (4N menjadi 2N). Sel sekunder sulit diobservasi karena mereka adalah sel dengan waktu hidup yang cepat dan berlanjut ke fase pembelahan meiotik kedua. Pada fase ini setiap sel mengandung 23 kromosom (haploid). Karena fase S (DNA sintesis) tidak terjadi, maka jumlah DNA yang terbentuk berkurang setengahnya (1N) setiap sel. Sel ini akan kembali menjadi sel diploid setelah terjadi fertilisasi (bertemuinya sperma dengan ovarium) (Junqueira, 2009).

Gambar berikut menunjukkan tahap-tahap spermatogenesis :



Gambar 3 . Spermatogenesis (Smith, *et al.*, 2001)

Hal terakhir dari spermatogenesis adalah spermiogenesis. kegiatan ini dilakukan untuk membentuk spermatozoid. Spermiogenesis pada manusia terjadi selama lebih dari 16-hari dalam 1 periode. Hal ini ini terbagi dalam 4 fase.yang pertama adalah *The Golgi Phase, Cap Phase, Acrosomal Phase* dan *Maturational Phase* (Bergman, 1996).

Pada fase golgi ini spermatid membentuk organel yang lengkap termasuk kompleks golgi, mitokondria, sentriol dan mikrotubulus. Inti dari fase golgi adalah (1) asosiasi kompleks golgi dengan satu sisi nukleus (2) migrasi dari sentriol ke setiap kutub sel secara tepat. Tanda pertama diferensiasi ke spermatozoa adalah adanya *granula akrosomal* kecil terikat membran pada kompleks golgi, dilanjutkan semuanya bersatu ke dalam granula besar tunggal dalam *vesikel akrosomal* yang lebih besar. Vesikel menjadi besar dan *nuclear* menyebar (Bergman, 1996).

Fase kap ditandai dengan vesikel akrosom menjadi lebih datar, migrasi ke lateral, dan mengelilingi granuloma akrosom yang ada di kutub menempel pada amplop nuklear dengan membentuk lipatan tipis (Bergman, 1996).

Nucleus melanjutkan proses kondensasi dan pemanjangan serta granula membentuk porsi bagian depan dari perkembangan kepala sperma sebagai akrosom. Salah satu sentriol berkembang menjadi flagel. Akrosome memiliki lisosom yang mengandung hidrolitik enzim berfungsi untuk menembus zona pellucida pada ovarium. Agregasi mitokondria di sekitar bagian proksimal dari flagel. Membentuk regio yang tebal disebut *middle piece*. Pergerakan flagel terjadi karena pembentukan atp oleh mitokondria dan interaksi antar mikritubulus (Junqueira, 2009).

Pada masa maturasi lumbung sitoplasma yang berlebihan akan dimakan oleh sel sertoli. Pada penyelesaian fase ini, sel sertoli akan melepaskan spermatozoa ke lumen tubulus, dimana gamet-gamet didisain baik sebagai spermatozoa (Bergman, 1996).

B.2.2. Deteksi gangguan pada testis

Adanya gangguan pada testis dapat dideteksi dengan berbagai cara, menurut Boekelheide et al. (1991) menurunnya berat testis merupakan indikator awal terjadinya gangguan pada testis. Gejala lain yang dapat menunjukkan gangguan pada testis adalah atrofi (tubulus seminiferus testis). Atrofi dapat terjadi karena adanya perubahan dalam testis, tepatnya terjadi gangguan pada sel Sertoli.

Sel Sertoli berperan penting dalam pematangan sel germinal dan berperan sebagai penyedia faktor yang dibutuhkan untuk proses spermatogenesis. Terjadinya atrofi pada testis akan memberikan dampak atau terhadap kemampuan reproduksi dan proses spermatogenesis.

Apoptosis yang terjadi di testis merupakan mekanisme fisiologi untuk mengatur jumlah sel- sel germinal dalam epitelium seminiferus (Boekelheide et al., 2000), sehingga apoptosis memegang peranan penting pada homeostatis testis.

Secara umum apoptosis antara lain dicirikan oleh penyusutan ukuran sel, blebbing(melepuh) pada membran, kondensasi kromatin dan fragmentasi inti. Ada 2 jalur apoptosis, yaitu jalur ekstrinsik melalui reseptor permukaan sel, dan intrinsik melalui mitokondria (Garrido, 2001).

Bcl-2 juga dikenal sebagai B-cell Lymphoma 2, adalah protein transmembran yang mengatur apoptosis, berlokasi pada membran dalam mitokondria Bcl-2 bukanlah protein tunggal melainkan famili protein. Bcl-2 dipercaya menjadi proto-onkogen yang unik jika dibandingkan protoonkogen yang lain, karena dia mengganggu program kematian sel independen mempromosikan pembelahan sel (Hockenbery, D,1990).

Kunci pengaturan apoptosis yang penting adalah protein famili Bcl-2 yang terdiri dari protein anti-apoptosis seperti Bcl-2, Bcl-Xl, Bcl-w dan protein pro-apoptosis seperti Bax, Bak, Bad (Zhang et al.,2001; Krajewski et al.,1996). Bcl-2 atau Bcl-w merupakan faktor prosurvival yang penting pada sel sertoli, spermatogonia, dan spermatosit; serta mempunyai peranserta dalam pengaturan apoptosis melalui pengikatan faktor proapoptosis Bax dan Bak.

C. Indoor Pollution

Pencemaran udara dalam ruangan saat ini memberikan kontribusi besar terhadap pencemaran udara secara umum. Polusi udara dalam ruangan menyebabkan 1,6 juta kematian akibat pneumonia, penyakit pernapasan kronis dan kanker paru-paru dengan beban penyakit secara keseluruhan melebihi beban dari polusi udara luar lima kali lipat (WHO, 2005).

Salah satu agen polutan udara dalam ruangan adalah *Volatile Organic Compound* (VOC). USEPA (United State Environmental Agency) menyebutkan bahwa konsentrasi VOC secara konsinten 10 kali lebih tinggi pada *indoor* daripada *outdoor*. Produk-produk dalam rumah tangga yang mengandung VOC antara lain adalah cat, pelindung cat, berbagai pelarut, pengawet kayu, aerosol spray, produk pembersih, disinfektan, repellent dan **pewangi ruangan**, produk otomotif, perlengkapan untuk hobi dan dry-cleaned pakaian (USEPA, 2012). WHO (2011) menyebutkan bahwa hampir 2 juta orang per tahun meninggal karena penyakit yang disebabkan oleh *indoor pollution*.

Pengharum ruangan adalah produk rumah tangga secara eksplisit melepaskan bahan-bahan kimia yang dikandung ke udara kemudian dihirup oleh konsumen. Partikel pencemaran secara langsung dibebaskan dari suatu produk dan menyebabkan terjadinya peningkatan risiko kesehatan (Nazaroff, 2012). Semua zat pewangi pada prinsipnya berisiko terhadap kesehatan.

Zat pewangi banyak digunakan karena mengisyaratkan kebersihan walaupun diketahui mengandung zat berbahaya (Hanke, W., 2007) Pemakaian produk pengharum ruangan cenderung tanpa aturan yang jelas memperburuk dampak pada masyarakat (Viktor, 2008).

Beberapa bahan kimia yang umum ditemukan dalam pengharum udara ditemukan sebagai racun bagi manusia dan dapat meningkatkan masalah kesehatan (Wetzel, 2009). Bahan yang paling umum digunakan sebagai pemberi aroma dalam pengharum ruangan meliputi etanol, formaldehida, bibit pengharum, naftalena, fenol dan xilena ataupun turunannya (EHAN, 2002). Bahan-bahan yang termasuk substansi berbahaya meliputi derivat benzena, pinen dan limonen, aldehida, fenol, dan juga cresol (MCS, 2005).

Setiap jenis pengharum ruangan memiliki kandungan yang berbeda. Konsentrasi dan jenis bentuk zat berbahaya pun berbeda. Zat berbahaya mana yang lebih tinggi kadarnya di setiap jenis tidak ada yang sama (Hanke, *et al.*, 2006). Bahan lain yang dicurigai berbahaya terhadap sistem reproduksi adalah *phthalate* yang digunakan sebagai bahan pengikat dan pelarut pada pewangi ruangan seperti yang dijelaskan di atas (Swan, 2008). Hasil penelitian oleh Yuningtyaswari,*et*

al(2013) menunjukkan bahwa pendedahan pewangi ruangan gel dan spray menyebabkan berkurangnya konsentrasi spermatozoa dan diameter tubulus seminiferus testis.

D. Manfaat carbon aktif dan risikonya terhadap kesehatan

Carbon aktif merupakan salah satu tipe karbon yang diproses sedemikian rupa sehingga pori-porinya terbuka dan dengan demikian memiliki daya serap yang tinggi terhadap bahan yang berbentuk larutan atau uap.

Activated Carbon / Arang Aktif digunakan untuk mengobati keracunan dan overdosis berikut lisan konsumsi . Namun tidak ada bukti yang baik bahwa meningkatkan hasil. Aplikasi yang salah (misalnya ke paru-paru) menyebabkan aspirasi paru yang kadang-kadang bisa berakibat fatal jika perawatan medis segera tidak dimulai. Penggunaan karbon aktif kontraindikasi jika substansi tertelan adalah asam, alkali, atau produk minyak bumi (Anonim,2014).

David,A (2006) dalam penelitian menunjukkan bahwa adsorben karbon aktif dengan penyisipan ilmenit dapat mereduksi gas buang dari sepeda motor empat langkah.

Carbon aktif, khususnya carbon nanomaterial merupakan material fabrikasi terbaru yang berpotensi untuk digunakan secara luas. Adsorpsi senyawa organik hidrofobik (HOCs) oleh carbon nanomaterial dapat mempertinggi toksisitas dan efeknya, transformasi, dan transport dari HOCs ke dalam lingkungan (Kun Yang, *et all* ,2006).

Dampak buruk lain terhadap kesehatan yang disebabkan oleh carbon aktif adalah bahwa inhalasi nanopartikel carbon aktif dapat meningkatkan sumber inflamasi paru-paru hingga dua kali lipat (Roy J & Lucille A, dalam Ghifari, AS, 2011)

Manfaat lain dari penggunaan carbon aktif (arang carbon) adalah dalam hal kecantikan dan kesehatan. Seperti yang ditulis dalam Anonim (2013) berikut ini :

1. Membersihkan kulit

Kandungan karbon aktif menyerap kotoran dan polutan. Hal ini menyebabkan debu, minyak dan kotoran yang menempel pada kulit dapat diserap dengan baik. Hasilnya kulit menjadi lebih bersih dan bebas dari kotoran.

2. Memutihkan gigi

Untuk keperluan ini, cukup dengan cara menghancurkan tablet arang aktif dan kemudian mencelupkan sikat gigi yang sudah diberi pasta gigi ke dalam serbuk arang aktif. Setelah itu digunakan untuk menyikat gigi seperti biasa.

3. Menyegarkan wajah

Untuk keperluan ini, tablet arang dihancurkan kemudian dicampur dengan gel lidah buaya dan minyak pohon teh. Bahan-bahan tersebut dicampur dan digunakan sebagai masker wajah.

4. Mengatasi bau badan

Untuk keperluan ini, scrub arang dicampur dengan gula merah, dan minyak pati. Campurkan bahan-bahan tersebut dan lumurkan pada bagian bawah lengan dan kaki, pijat bagian tersebut saat mandi.

5. Mengobati keracunan

Fungsi utama arang dalam pengobatan adalah untuk mengobati keracunan. Pasalnya carbon aktif dapat menetralkan racun. Selain itu, carbon juga dapat mengurangi kembung dan asam lambung.

Efek samping dan kerugian penggunaan karbon

Selain manfaat, carbon aktif juga dapat memiliki efek samping dan kerugian, khususnya jika digunakan untuk pengobatan, seperti mual, muntah, penggelapan warna urin.

Berdasarkan catatan dari University of Michigan Health System, carbon aktif menyebabkan warna tinja menjadi hitam atau gelap, jika penggunaannya tanpa dosis yang tepat. Selain itu, carbon aktif juga dapat meningkatkan sakit perut, dengan terjadinya sembelit. Pengobatan dengan carbon aktif kadang tidak cocok untuk sebagian orang, karena seseorang mungkin alergi dengan pengobatan ini.

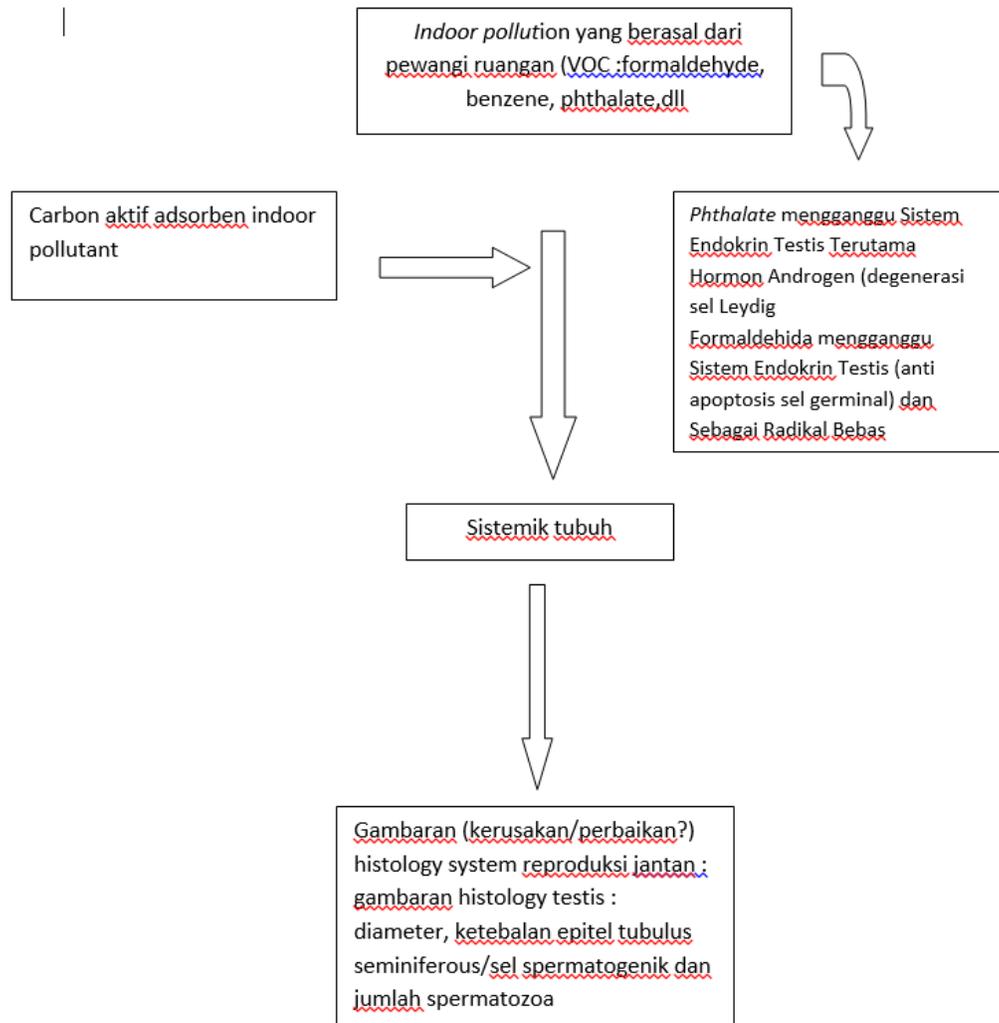
Gejala alergi dapat berupa kesulitan bernafas, dan gatal-gatal. Pengobatan ini juga tidak cocok untuk anak-anak di bawah umur 12 tahun, ibu hamil, ibu menyusui dan mereka yang memiliki masalah sembelit kronis.

Arang aktif juga mengandung sorbitol, agen pemanis yang mampu menyebabkan reaksi alergi pada seseorang yang memiliki reaksi alergi terhadap fruktosa atau gula buah.

Menurut Anonim (2014), penggunaan carbon aktif dalam pengobatan digunakan untuk mengobati keracunan dan overdosis berikut lisan konsumsi. Namun tidak ada bukti yang baik bahwa meningkatkan hasil. Hal ini tidak efektif untuk sejumlah keracunan termasuk dengan: asam kuat dari alkali, besi, lithium, arsenik, metanol, etanol atau etilen glikol. Aplikasi yang salah (misalnya ke paru-paru) menyebabkan aspirasi paru yang kadang-kadang bisa berakibat fatal jika

perawatan medis segera tidak dimulai. Penggunaan karbon aktif kontraindikasi jika substansi tertelan adalah asam, alkali, atau produk minyak bumi .

E. KERANGKA KONSEP



BAB III

METODE PENELITIAN

A. TAHAP-TAHAP PENELITIAN

1. Persiapan subyek dan perlengkapan penelitian

Sebanyak 40 ekor tikus putih (*Rattus norvegicus*) jantan sesuai kriteria dibagi menjadi 4 kelompok, yaitu Kelompok Kontrol Negatif (KN), Kelompok Kontrol Positif (KP), Kelompok Perlakuan Pewangi (PP) dan Kelompok Pewangi dan Carbon Aktif (PC). Masing-masing kelompok beranggotakan 10 ekor tikus.

Persiapan perlengkapan penelitian meliputi : pembuatan kotak perlakuan, persiapan reagen-reagen, persiapan kandang pemeliharaan, pembelian carbon aktif, pewangi ruangan.

2. Pemberian perlakuan subyek

Subyek diberi perlakuan sesuai kelompoknya, dengan pemberian perlakuan 8 jam/hari selama 30 hari berturut-turut.

3. Pengurusan ijin laboratorium

Surat ijin perlu disiapkan untuk menggunakan fasilitas laboratorium-laboratorium yang diperlukan untuk pelaksanaan penelitian ini.

4. Pembedahan dan pengambilan organ

Pengambilan darah dilakukan pada hari ke-31 setelah pemberian pembedahan. Fiksasi organ dilakukan segera setelah pembedahan dan segera difiksasi dengan larutan formain 10%

5. Pembuatan sediaan histologi

Sediaan histologi dibuat dengan metode parafin blok dengan teknik pewarnaan Hematoxyline Eosin.

6. Pengamatan dan penilaian histologi

Dilakukan dengan menggunakan mikroskop cahaya, Pengambilan foto, pengukuran diameter obyek dibantu dengan software dan hardware OptiLab.

7. Tabulasi dan pengolahan data

Tabulasi data dilakukan dengan MS Excel dilanjutkan dengan pengolahan data menggunakan software SPSS.

8. Penyusunan laporan

B. LOKASI PENELITIAN

1. Pemeliharaan dan pemberian perlakuan pendedahan pewangi ruangan dilakukan di unit pemeliharaan hewan coba FKIK UMY
2. Pembedahan subyek dilakukan di Laboratorium Histologi FKIK UMY
3. Pembuatan sediaan histologi dilakukan di Laboratorium Patologi Anatomi, Asri Medical Centre
4. Pengamatan sediaan histologi dilakukan di Lab. Histologi dan PA FKIK UMY

C. VARIABEL PENELITIAN

1. Variabel bebas : pemberian perlakuan berupa pendedahan hewan uji dengan carbon aktif dan pewangi ruangan sesuai dengan kelompoknya.
2. Variabel tergantung :
Jumlah spermatozoa dan gambaran histologi testis : diameter tubulus seminiferus.
3. Variabel terkontrol :
 - a. Tikus yang digunakan sebagai subyek penelitian dengan spesifikasi tertentu dan seragam, yaitu species *Rattus norvegicus*, berjenis kelamin jantan, berumur 2 bulan. .
 - b. Semua subyek dari kelompok perlakuan diberi dosis pendedahan yang sama sesuai kelompoknya
 - c. Semua sunyek pada penelitian ini dipelihara dengan kondisi tempat pemeliharaan, pakan dan minum yang sama.

D. SUBYEK PENELITIAN

Subyek penelitian ini adalah 28 ekor tikus putih (*Rattus norvegicus*) jantan berumur 2 bulan. Pemberian perlakuan dilakukan P8 jam/hari setiap hari sampai 30 hari.

E. RANCANGAN PENELITIAN

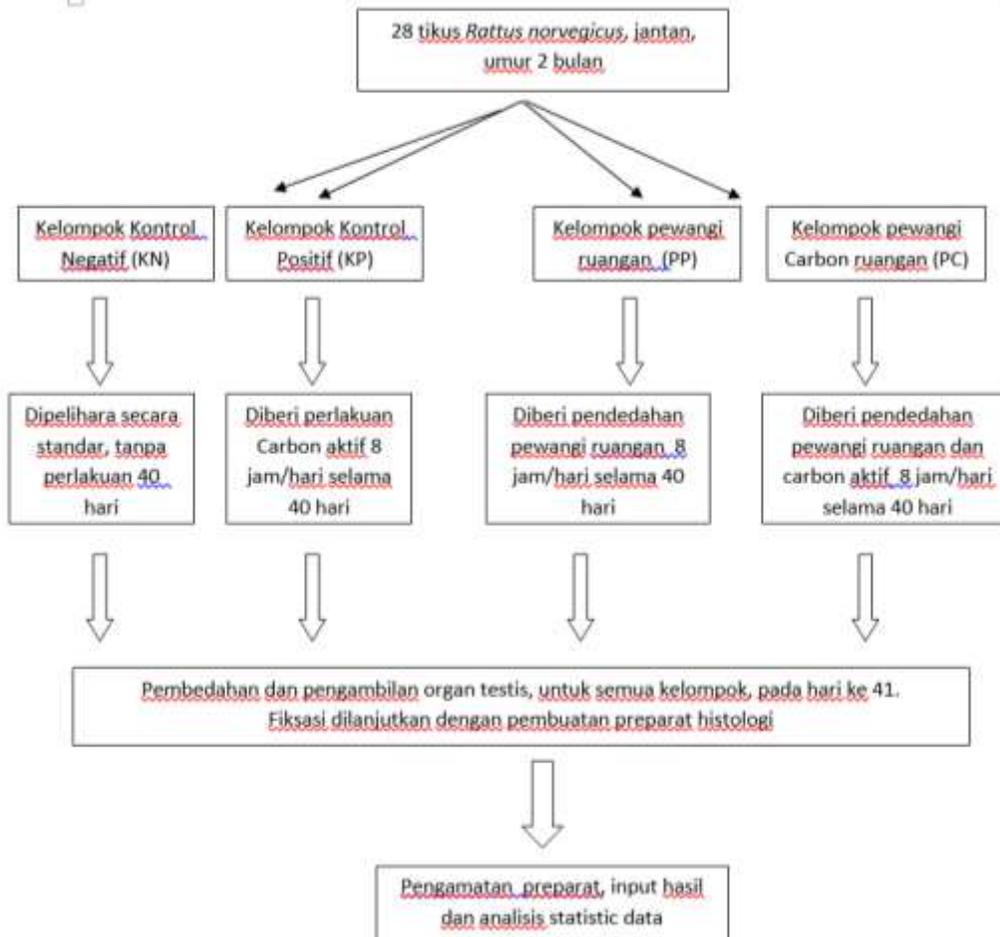
Jenis penelitian ini adalah eksperimental murni dengan rancangan *post only control group design*.

F. TEKNIK PENGUMPULAN DATA DAN ANALISIS DATA

Data-data yang diperoleh dari semua variabel penelitian ini ditabulasi dan selanjutnya dilakukan analisis data. Pengolahan data diawali dengan menguji distribusi data dan dilanjutkan

dengan uji perbandingan yang sesuai. Hasil uji normalitas terhadap semua data penelitian ini berdistribusi normal, maka analisis dilanjutkan dengan ANOVA.

G. ALUR PENELITIAN



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Penelitian

Penelitian dimulai dengan melakukan aklimasi 40 ekor hewan coba selama beberapa hari, dengan tujuan mengadaptasikan hewan coba (tikus putih *Rattus norvegicus*) dengan kondisi tempat pemeliharaan dan perlakuan penelitian. Selama masa pemberian perlakuan, ada 6 ekor tikus yang mati dan 10 ekor tidak memenuhi kriteria inklusi, sehingga terpaksa dieksklusi. Jumlah final tikus sampel yang digunakan adalah sebanyak 24 ekor. Setelah itu, dilakukan pembagian hewan coba secara random, menjadi 4 kelompok, masing-masing terdiri dari 6 ekor tikus.

Penelitian dilanjutkan dengan memberi perlakuan kepada hewan coba sesuai dengan kelompoknya. Kelompok Kontrol Negatif (KN) dilakukan pemeliharaan standar, tidak diberi perlakuan apapun. Kelompok Kontrol Positif (KP) diberi perlakuan Carbon Aktif selama 8 jam setiap hari selama 40 hari. Kelompok Perlakuan Pewangi (PP) diberi perlakuan Pewangi Ruangan selama 8 jam setiap hari selama 40 hari. Kelompok Perlakuan Pewangi Carbon (PC) diberi perlakuan Pewangi Ruangan bersamaan dengan Carbon Aktif selama 8 jam setiap hari selama 40 hari. Perlakuan diberikan di kandang perlakuan hewan uji seluas 60x60x60 cm dengan tinggi kaki 15 cm. Pewangi ruangan yang digunakan adalah pewangi ruangan merk "X" bentuk gel dengan bentuk binatang yang biasa digunakan di dalam mobil, dengan aroma jeruk. Sebelum digunakan pada penelitian ini, pewangi ruangan yang akan digunakan sebagai sumber indoor pollution sudah diteliti terlebih dahulu kadar formalinnya di LPPT Universitas Gadjah Mada. Dengan metode spektrofotometri UV-vis, pewangi ruangan tersebut diketahui mengandung formalin 0,62 ppm.

Selama masa perlakuan, kesehatan hewan coba dipantau dengan menimbang berat badan masing-masing hewan coba setiap 2 hari sekali, dan mengamati aktivitas gerak-geriknya. Secara umum hewan coba masih dalam keadaan layak digunakan sebagai subyek penelitian. Keadaan umum hewan coba selama penelitian tergolong normal sehat. Hal ini tercermin dari hasil penimbangan berat badan masing-masing hewan coba setiap 2 hari sekali yang menunjukkan angka terus meningkat.

Setelah 40 hari, hewan coba dikorbankan dengan diberi anastesi Chlorofom, dilanjutkan dengan pengambilan organ testis dan salurannya (ductus epididymis). Organ testis selanjutnya

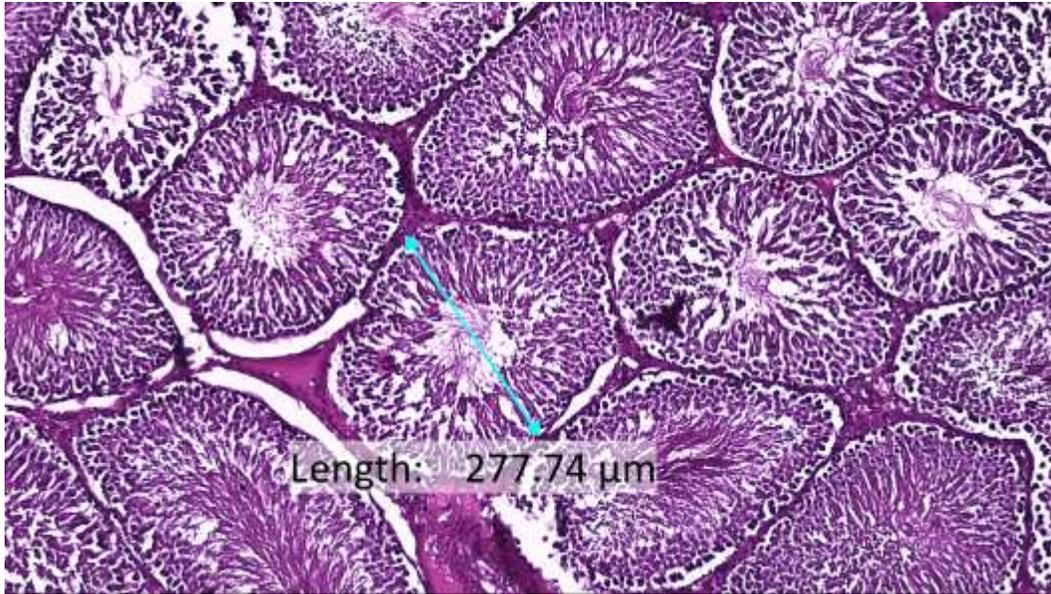
difiksasi dengan merendam testis ke dalam wadah yang telah diisi dengan larutan Formalin Buffer 10%, untuk selanjutnya dibuat sediaan preparat histologi dengan metode Parafin Blok dengan teknik pewarnaan Hematoxyline Eosin (HE). Preparat ini dibuat untuk keperluan pengamatan gambaran histologi tubulus seminiferous.

Perhitungan jumlah sperma diawali dengan mengambil ductus epididimis pada bagian cauda, sepanjang 10 mm, dicacah, sehingga diperoleh cairan semen setara dengan volume 20 μ L dan selanjutnya diencerkan dengan larutan NaCl 0.09% 180 μ L. Langkah selanjutnya adalah mengambil 1 tetes cairan semen yang sudah diencerkan tadi dimasukkan ke dalam bilik hitung Improved Neubauer, direcord dengan software Miconos Sigma, untuk selanjutnya dihitung jumlah spermatozoa yang tampak per lapang pandang. Perhitungan jumlah spermatozoa dilakukan pada 5 lapang pandang untuk setiap preparatnya.

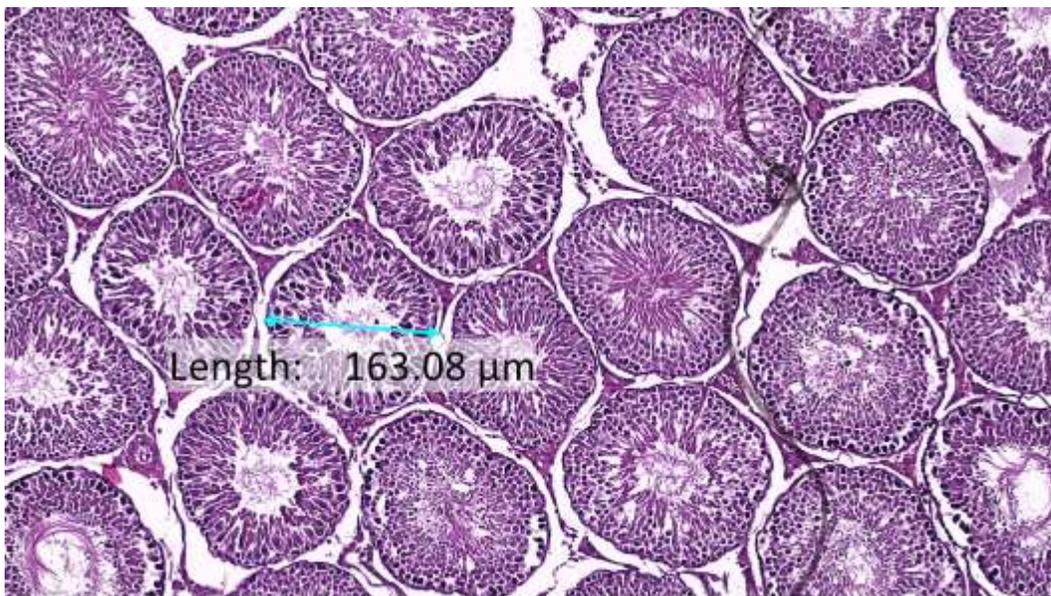
Gambaran histologi testis berupa gambaran tubulus seminiferus, (khususnya diameter) diamati dari sediaan preparat histologi dengan menggunakan mikroskop binokuler pada 3 lapang pandang, pada perbesaran 10x10 dibantu dengan software Miconos Sigma dan OptiLab Advance untuk pengambilan foto preparat dan pengukuran diameter tubulus seminiferous testis.

B. Hasil Penelitian

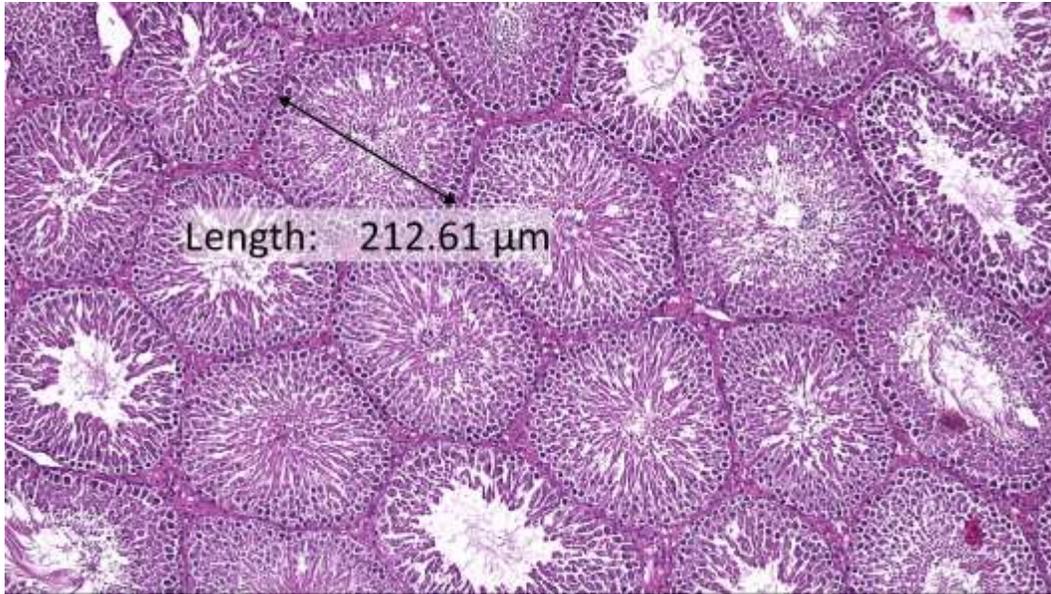
Hasil pengamatan terhadap gambaran histologi tubulus seminiferous pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 5, 6, 7 dan 8 berikut ini yang berisi foto-foto preparat histologi tubulus seminiferous testis.



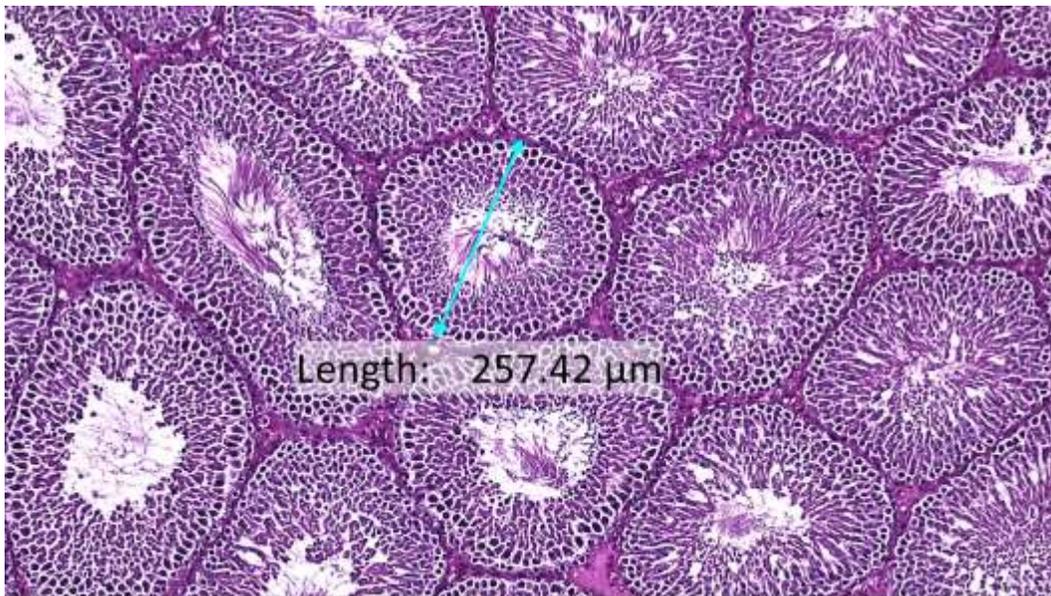
Gambar 5 : Penampang Melintang Tubulus Seminiferus Kelompok Kontrol (HE, 10x10)



Gambar 6 : Penampang Melintang Tubulus Seminiferus Kelompok Pewangi (HE, 10x10)



Gambar 6 : Penampang Melintang Tubulus Seminiferus Kelompok Carbon (HE, 10x10)



Gambar 8 : Penampang Melintang Tubulus Seminiferus Kelompok Carbon + Pewangi (HE, 10x10)



Gambar 9 : Preparat Spermatozoa Kelompok Kontrol



Gambar 10 : Preparat Spermatozoa Kelompok Pewangi



Gambat 11 : Preparat Spermatozoa Kelompok Carbon



Gambar 12 : Preparat Spermatozoa Kelompok Carbon + Pewangi

Data kuantitatif diameter tubulus seminiferous dan jumlah spermatozoa per lapang pandang diolah dengan uji statistik yang sesuai. Pengolahan data pengamatan histologi terhadap tubulus seminiferus testis dan perhitungan jumlah sperma per lapang pandang diawali dengan uji normalitas distribusi data menggunakan uji statistic Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk. Nilai signifikansi yang dipergunakan adalah hasil uji Shapiro-Wilk, karena jumlah sampel kurang dari 50. Hasil uji normalitas data dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Normalitas Sebaran Data

Variabel	Kelompok	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
		Statistic	dfdengan	Sig.	Statistic	Df	Sig.
Diameter	kontrol	.297	6	.107	.839	6	.128
	carbon	.152	6	.200(*)	.991	6	.992
	pewangi	.188	6	.200(*)	.954	6	.772
	carbon	.281	6	.152	.850	6	.158
sperma	pewangi	.260	6	.200(*)	.875	6	.247
	kontrol	.335	6	.034	.836	6	.121
	carbon	.308	6	.078	.848	6	.151
	pewangi	.252	6	.200(*)	.827	6	.100

* This is a lower bound of the true significance.

a Lilliefors Significance Correction

Hasil uji statistic untuk normalitas sebaran data diameter tubulus seminiferus maupun jumlah sperma pada semua kelompok penelitian ini menunjukkan nilai > 0.05 , sehingga dapat disimpulkan bahwa sebaran data secara keseluruhannya adalah normal. Uji statistic dilanjutkan dengan uji statistic parametric untuk membandingkan antar kelompok-kelompok yang dibandingkan. Uji statistic perbandingan yang digunakan kali ini adalah One Way Anova. Hasil uji One Way Anova dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. ANOVA untuk Diameter Tubulus Seminiferus Testis dan Jumlah Sperma

Variable		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Diameter	Between Groups	2712.579	3	904.193	2.450	.093
	Within Groups	7382.278	20	369.114		
	Total	10094.857	23			
Sperma	Between Groups	25984.125	3	8661.375	3.619	.031
	Within Groups	47869.833	20	2393.492		
	Total	73853.958	23			

Hasil uji Statistik One Way Anova menunjukkan nilai signifikansi 0.093 untuk diameter tubulus seminiferus dan 0.031 untuk jumlah sperma per lapang pandang. Nilai tersebut menunjukkan bahwa secara statistic, nilai hasil pengukuran diameter antara 4 kelompok yang dibandingkan tidak menunjukkan perbedaan yang bermakna. Sedangkan nilai perhitungan jumlah spermatozoa per lapang pandang menunjukkan terdapat perbedaan yang bermakna di antara 4 kelompok yang dibandingkan. Oleh karena itu, uji statistic dilanjutkan dengan uji post hoc, untuk mengetahui letak perbedaan kelompok mana yang bermakna. Uji post hoc yang digunakan di

dalam penelitian ini adalah Uji Tukey ditambah dengan Uji Duncan, agar lebih mantap dalam penentuan letak perbedaannya. Hasil Uji Post hoc dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Kesimpulan Uji Statistik Tukey dan Uji Statistik Duncan untuk Diameter Tubulus Seminiferus

		N	Subset for alpha = .05	
Control		1	2	1
Tukey HSD(a)	Pewangi	6	199.4583	
	Carbon	6	215.5400	
	Control	6	223.5800	
	carbon pewangi	6	227.0200	
	Sig.		.093	
Duncan(a)	Pewangi	6	199.4583	
	Carbon	6	215.5400	215.5400
	Control	6	223.5800	223.5800
	carbon pewangi	6		227.0200
	Sig.		.051	.340

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

Tabel 4. Kesimpulan Uji Statistik Tukey dan Uji Statistik Duncan untuk Jumlah Spermatozoa per lapang pandang

		N	Subset for alpha = .05	
Control		1	2	1
Tukey HSD(a)	carbon pewangi	6	91.0000	
	Pewangi	6	111.5000	111.5000
	Carbon	6	120.1667	120.1667
	Control	6		179.5000
	Sig.		.733	.108
Duncan(a)	carbon pewangi	6	91.0000	
	pewangi	6	111.5000	
	carbon	6	120.1667	
	kontrol	6		179.5000
	Sig.		.341	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

Berdasarkan Uji Statistik Deskriptif, Uji One Way Anova dan Uji Post Hoc, untuk nilai pengukuran diameter tubulus seminiferus dan jumlah spermatozoa dapat disimpulkan sebagai berikut pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Diameter Tubulus Seminiferus (μm)

No	Kelompok	Rerata \pm SD
1.	Kontrol	223.580 \pm 17.597
2.	Carbon	215.540 \pm 30.323
3.	Pewangi	199.458 \pm 12.321
4.	Carbon + Pewangi	227.020 \pm 9.774

Keterangan :

Angka-angka di atas menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang bermakna terhadap 4 kelompok yang dibandingkan, dengan Uji Statistik Tukey pada tingkat kepercayaan 95%.

Tabel 6 : Jumlah spermatozoa per lapang pandang

No	Kelompok	Rerata \pm SD
1.	Kontrol	179.500 \pm 38.929 ^b
2.	Carbon	120.167 \pm 45.989 ^{ab}
3.	Pewangi	111.500 \pm 34.518 ^{ab}
4.	Carbon + Pewangi	91.000 \pm 68.935 ^a

Keterangan :

Angka diikuti huruf ^{abc} yang berbeda, menunjukkan perbedaan yang bermakna dengan uji Tukey pada tingkat kepercayaan 95%

C. Pembahasan

Secara umum hasil pengukuran ukuran diameter tubulus seminiferous testis dan penghitungan jumlah spermatozoa, menunjukkan adanya pengaruh negative dari pewangi ruangan. Hal ini ditunjukkan dengan nilai hasil pada kelompok control lebih tinggi daripada kelompok lainnya (kecuali pada kelompok carbon plus pewangi yang memiliki diameter tubulus paling besar).

Pewangi ruangan berpengaruh negative/buruk terhadap testis melalui 2 mekanisme, yaitu dapat melalui kerusakan melalui mekanisme radikal bebas, maupun melalui efek hormonal.

Hasil penelitian mengenai pengaruh Carbon Aktif dalam mengurangi kerusakan jaringan sistem reproduksi jantan yang disebabkan oleh *Indoor Pollution* secara umum menunjukkan hasil positif. Penggunaan carbon aktif selama 8 jam setiap hari selama 40 hari berturut-turut menunjukkan adanya potensi untuk perbaikan jaringan pada system reproduksi jantan. Hal ini ditunjukkan dengan gambaran histologi tubulus seminiferous testis, yang ditunjukkan dengan ukuran diameter tubulus seminiferus seperti yang dapat dilihat pada tabel 5.

Pada Tabel 5 dapat dilihat, bahwa diameter tubulus seminiferous yang paling kecil adalah dari kelompok tikus dari kelompok perlakuan Pewangi Ruangan, disusul dengan kelompok Perlakuan Carbon, Kelompok Kontrol, dan kelompok perlakuan Carbon + Pewangi Ruangan. Meskipun dengan uji statistic perbandingan menggunakan uji Tukey menunjukkan perbedaan tersebut tidak signifikan, tetapi setidaknya hal tersebut menunjukkan adanya potensi perbaikan terhadap kerusakan jaringan yang diperankan oleh carbon aktif dengan potensinya menyerap indoor pollution yang dalam penelitian ini sumber polutan berasal dari pewangi ruangan. Adanya potensi perbaikan jaringan dengan penggunaan carbon aktif sebagai penyerap indoor pollutant ini ditunjukkan dengan lebih besarnya ukuran diameter tubulus seminiferous testis kelompok hewan coba yang diberi perlakuan Pewangi ruangan plus carbon aktif. Hasil ini didukung dengan uji perbandingan menggunakan uji statistic Duncan yang menunjukkan perbedaan yang signifikan antara diameter tubulus seminiferous kelompok Carbon+Pewangi dan kelompok hewan coba yang hanya diberi perlakuan Pewangi ruangan saja.

Pemilihan pewangi ruangan untuk digunakan sebagai agen *indoor pollution* adalah karena pada saat ini penggunaan pewangi ruangan yang semakin banyak. Di berbagai ruangan baik ruang pribadi maupun ruang public biasa dijumpai pewangi ruangan. Pewangi ruangan yang digunakan sebagai agen *indoor pollution* adalah pewangi ruangan yang khusus untuk dipasang di kabin mobil. Pewangi ruangan tersebut seperti pewangi ruangan yang lain, mengandung berbagai senyawa organic volatile seperti formaldehid, ftalat, toluene, dan lain-lain yang berpotensi merusak jaringan tubuh, mulai dari system pernafasan, bahkan hingga ke system reproduksi.

Pewangi ruangan mobil yang digunakan pada penelitian ini adalah pewangi berbentuk gel merk "X" dengan bentuk bangun burung penguin, dengan aroma jeruk. Seperti pewangi ruangan gel yang lain, pewangi ini mengandung formalin juga. Bahkan dari hasil pengukuran kadar

formalin yang pada penelitian ini dilakukan di LPPT UGM, menunjukkan kadar formalin yang cukup besar, yaitu 0.62 ppm. Kadar ini bahkan paling tinggi jika dibandingkan dengan beberapa pewangi ruangan gel lainnya yang juga kami teliti.

Formalin/formaldehid adalah salah satu senyawa volatile organic yang berpengaruh buruk terhadap jaringan system reproduksi jantan. Seperti yang dinyatakan dalam Gules E & Eren, O (2010), bahwa pada studi yang dilakukan kepada tikus, formaldehida menyebabkan atrofi testis, pengurangan berat testis, serum testosteron, diameter tubulus seminiferus, dan tinggi epitel seminiferus.

Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil penelitian ini, yang menunjukkan diameter tubulus seminiferus paling kecil adalah pada kelompok tikus yang diberi perlakuan pewangi ruangan. Tubulus seminiferus akan atrofi dan mengakibatkan diameter tubulus seminiferus mengecil. Konsentrasi sperma pun berkurang akibat kegagalan produksi hormon testosteron akibat terganggunya sel leydig. Hal-hal tersebut disebabkan oleh zat aditif (*phthalate, terpene, limonene, benzyl asetat, linalool, dan citronellol*) dan pelarut (formaldehid, *isobutane, Acetaldehyde, dan 1,4-diclorobenzene*) yang terkandung di dalam pengharum ruangan (Freed, L. & Wilson, D. 2009).

Efek dari *Phthalate* pada sistem reproduksi sudah diketahui sebagai pengganggu sistem endokrin pada testis. Sasarannya adalah sel leydig sebagai penghasil hormon testosteron mengakibatkan berkurangnya diameter tubulus seminiferus, fertilitas, motilitas sperma, dan berat testis di mana fungsi dari testosteron adalah spermatogenesis, pembedaan perkembangan sexual saat embrio dan perkembangan fetal, dan mengontrol sekresi gonadotropin (Nguyen, et al., 2010).

Jalur absorsi *Phthalate* melalui inhalasi secara langsung terserap pada sistem pernafasan. Diabsorsi sebagai DEHP dan bersirkulasi dalam darah tanpa terjadi hidrolisis seperti jalur oral. Jalur absorsi dermal hanya dapat menyerap DEHP yang dilarutkan. Ethanol yang biasanya sebagai pelarut DEHP akan memudahkan masuknya DEHP dan langsung bersirkulasi dalam darah menuju sistem reproduksi sebagai target sasaran (Bhattacharya, et.al.,2005).

Waktu paruh dari *Phthalate* di dalam tubuh manusia tidak lebih dari 36 jam. Pada manusia, 75% dari DEHP yang termakan akan diekskresi oleh ginjal dua hari berikutnya. Sebelumnya, DEHP akan dihidrolisis secara cepat pada usus menjadi *Mono-(2-ethylhexyl) Phthalate* (MEHP). Tetapi, pada masa kini pendedahan DEHP sangat besar dan luas (Habert,R., et.al. ,2009).

Kemungkinan lain *Phthalate* menginduksi atrofi testis pada tikus dihubungkan dengan pengurangan persediaan zinc pada testis. ZnT-1 adalah marker zinc pada testis. DEPH mungkin

menggunakan efek toksiknya pada testis dengan mengubah ekspresi dari ZnT-1 (Bhattacharya, *et.al.*, 2005). Perubahan fenotip muncul pada keturunan tikus jantan termasuk hipospadia, *cryptorchidism*, atropi atau agenesis organ aksesori kelamin, kerusakan testis, pengurangan produksi sperma dan *anogenital distance*.¹³ Akibat dari rusaknya sel Sertoli, sel Leydig, kekurangan hormon androgen, dan diferensiasi sel germinal yang terganggu dapat terjadi testikular disgenesis sindrom pada tikus (Fisher, JS, 2004).

Phthalate khususnya DEHP juga menggacaukan perkembangan struktur androgen-dependen yang mengakibatkan sulitnya hormon testosteron ditangkap oleh testis. Masuknya testosteron ke dalam testis biasanya berdampingan dengan hormon gonadal yaitu FSH dan LH. Fungsi hormon gonadal yang memnjalankan cAMP pada sertoli juga dapat mempengaruhi spermatogenesis dan diameter tubulus (Nguyen, *et. al.*, 2010).

Mekanisme-mekanisme tersebut dapat menginduksi atropi testis pada tikus, mencit, dan marmut berhubungan dengan pengurangan biosintesis testosteron pada sel ledig bersama dengan menghambat *Follicle Stimulating Hormone* (FSH) menstimulasi cAMP pada sel Sertoli. Sel tersebut sebagai pemelihara sperma dan sel testis akibatnya, jika terhambat dapat mengurangi sel sperma dan mempengaruhi sel tubulus (Bhattacharya, *et.al.*, 2005).

FSH, LH, Inhibin-b, dan testosteron memang dipengaruhi secara langsung oleh *phthalate* khususnya MBP. Studi menyatakan konsentrasi MBP pada serum berbanding terbalik dengan kadar testosteron. Metabolit *Buthy Benzyl Phthalate* (BBzP) yaitu *Methyl Benzil Piperazine* (MBPz) memiliki efek pada reproduksi yaitu mengurangi konsentrasi sperma.¹⁵ Metabolit-metabolit *Phthalate* seperti DEHP, DBP, dan MBPz dapat mempengaruhi metabolisme lipid dan kolesterol, regulasi steroid hormon, sinyal insulin, dan sebagai radikal bebas (Dehnel, TL., 2008).

Pendedahan *phthalate* pada tikus juga didapati dapat mempengaruhi ekspresi gen. Gangguan pada ekspresi gen pada neonatal dapat mengurangi produksi semen pada masa dewasa. Tetapi, teori biomolekuler yang mendasari masih belum sepenuhnya jelas. Sampai sekarang teori yang diyakini adalah DEHP mengganggu gen aromatase (CYP19) dengan merusak formasi akrosomal. Akibat dari terganggunya gen tersebut, motilitas dan jumlah dari sperma akan menurun. Berkurangnya hormon endrogen akibat gangguan gen aromatase dapat menimbulkan *negative feedback* pada hipotalamus-pituitari-gonadal (Lee.¹⁷

Pemeriksaan dengan *Protein Chain Reaction* (PCR) juga menunjukkan penurunan reseptor gen inti seperti PPAR- γ dan RXR- α yang berfungsi dalam pembuatan hormon steroid bahkan

DEHP dapat mengganggu ekspresi gen-gen yang bekerja dalam menangkap kolesterol dan mensintesis untuk menjadi hormon steroid pada sel Leydig.¹⁷

Formalin diekskresikan dalam bentuk karbondioksida dan air, diperkirakan sekitar 10% diekskresi melalui urine, 1% melalui feses, dan 10-20% melalui saluran nafas. Sebagian besar asam formiat dari formalin mengendap dalam jaringan tubuh dan dapat menimbulkan efek yang permanen atau bisa bergabung menjadi grup methyl ke dalam asam nukleat dan protein.¹⁸

Pendedahan formalin menyebabkan meningkatnya reaktivitas *Reactive Oxygen Substance (ROS)* yang akan merusak DNA, protein dan lipid penyusun membran sel. Keadaan tersebut menyebabkan menurunnya aktivitas enzim *superoxide dismutase (SOD)* yang berperan sebagai antioksidan enzimatis yang merupakan *scavenger* utama terlibat dalam inaktivasi dan terminasi radikal oksigen bebas (Heryani, 2011).

Potensi penangkapan senyawa oksigen reaktif dalam saluran reproduksi secara normal ditunjukkan oleh cukupnya kadar antioksidan SOD, katalase, glutathion, vitamin E, dan C serta α -karoten. Bila terjadi ketidakseimbangan antara kadar antioksidan dan banyaknya senyawa oksigen reaktif akan terjadi kondisi yang disebut stres oksidatif dan menyebabkan turunnya fertilitas (Heryani, *et.al*, 2011).

Beberapa penelitian lain pada tikus dan anjing dengan pemberian formalin dalam dosis tertentu dalam jangka panjang secara bermakna mengakibatkan adenokarsinoma pilorus, preneoplastik hiperplasia pilorus dan adenokarsinoma duodenum. Penelitian dengan pemberian formalin peroral pada ayam dan burung puyuh menunjukkan penurunan berat testis dan berkurangnya diameter tubulus seminiferous (Heryani, *et.al*, 2011)

Formaldehida mempengaruhi *Relaxin-like factor (RLF)*, atau dikenal juga sebagai *Leydig cell insuline-like factor (Ley-IL)*, adalah hormon yang bersirkulasi, disintesis oleh gonadal mamalia dan diedarkan pada aliran darah. RLF terdeteksi sebagai protein saat kadar tinggi pada sel Leydig testis matur dan janin. RLF berfungsi sebagai penanggung jawab dalam turunnya testis pada masa awal kehidupan dan anti-apoptosis pada sel germinal laki-laki. RLF juga sebagai biomarker untuk sel Leydig (Viktor, 2008).

Pada penelitian kali ini zat formaldehid dan DEHP terdapat pada pengharum yang digunakan sebagai perlakuan. Melalui mekanisme kerja seperti penjelasan sebelumnya mengakibatkan secara bermakna mempengaruhi diameter tubulus seminiferus pada hewan uji.

Sebuah laporan yang dikeluarkan pada tahun 2005 oleh *Biro Europeen des Unions de consommateurs* (BEUC) menemukan bahwa banyak produk pengharum ruangan memancarkan alergen dan polutan udara beracun termasuk *benzene, formaldehyde, terpene, styrene, phthalate* dan *toluene*. Pengharum ruangan dapat juga berisi fosfat, pemutih klorin, atau ammonia. Penelitian kali ini menunjukkan bahwa pewangi ruangan berpengaruh buruk terhadap histologi dan fungsi system reproduksi jantan, yang tercermin dari lebih kecilnya ukuran diameter tubulus seminiferous, dan jumlah sperma yang lebih sedikit dibanding kelompok control.

Pada penelitian kali ini efektivitas carbon aktif dalam mengabsorpsi indoor pollution secara statistik masih belum terlihat signifikan, namun secara umum dapat dikatakan bahwa penggunaan carbon aktif berpotensi mengurangi dampak negative yang disebabkan oleh indoor pollution (dalam hal ini pendedahan pewangi ruangan). Pada kelompok yang didedahkan pewangi ruangan plus diberi carbon aktif, menunjukkan diameter tubulus seminiferous relatif besar, jauh lebih besar jika dibandingkan dengan ukuran diameter seminiferous kelompok yang hanya didedahkan indoor pollution. Lebih besarnya diameter tubulus seminiferous pada kelompok carbon dan pewangi menunjukkan potensi carbon dalam mengurangi kerusakan system reproduksi jantan yang disebabkan oleh indoor pollution.

Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian Wuntu AD dan Kamu VS (2008) yang menunjukkan kemampuan carbon aktif dengan kapasitasnya dalam menyerap toluene, aseton dan benzene. Dengan penggunaan carbon aktif, maka senyawa-senyawa toluene maupun benzene yang terkandung di dalam indoor pollution (pewangi ruangan) dapat terserap, sehingga dampak buruk kedua senyawa tersebut terhadap kesehatan dapat pula berkurang.

Sampai saat ini belum dijumpai hasil penelitian yang membahas tentang kapasitas carbon aktif dalam menyerap formalin. Namun demikian, dapat dikirakan bahwa carbon aktif juga memiliki kemampuan dalam menyerap karena formalin juga tergolong ke dalam senyawa organic folatil yang akan diikat oleh carbon aktif.

Hasil penelitian ini terdapat ketidaksesuaian antara hasil pengukuran diameter tubulus seminiferous dengan jumlah spermatozoa. Pada kelompok pewangi ruangan plus carbon aktif memiliki ukuran diameter besar, tetapi memiliki jumlah spermatozoa yang paling sedikit. Untuk menjelaskan penyebab kejadian ini, diperlukan banyak data pendukung yang terkait langsung maupun tidak langsung dengan proses spermatogenesis dan spermiogenesis, termasuk di antaranya yang penting adalah dengan pengukuran kadar hormone testosterone. Karena testosterone adalah

hormone utama yang diperlukan di dalam proses spermatogenesis maupun spermiogenesis. Pada penelitian ini tidak dilakukan pengujian kadar hormone testosterone arena minimnya dana dan fasilitas yang diberikan. Dari macam data yang diperoleh pada penelitian ini, dapat dijelaskan kemungkinan penyebab terjadinya kejadian ini. Ditinjau dari hasil yang ekstrim berbeda antara ukuran diameter dan jumlah spermatozoa, dapat dimungkinkan beberapa penyebab :

Pertama bahwa pengaruh *indoor pollution* (pewangi ruangan) pada system reproduksi jantan lebih kuat ke arah sel Leydig, daripada pada sel-sel spermatogenik. Hal ini tercermin dari ukuran diameter tubulus seminiferous yang justru pada kelompok carbon plus pewangi yang paling besar, namun memiliki jumlah spermatozoa yang paling sedikit. Atau mungkin daya adsorpsi carbon aktif yang digunakan pada penelitian kali ini lebih mampu menyerap senyawa volatile organic yang menyebabkan kerusakan sel melalui mekanisme radikal bebas, sehingga tidak mempengaruhi ukuran diameter tubulus seminiferous pada kelompok Carbon plus Pewangi.

Kemungkinan kedua adalah bahwa pada Carbon Aktif yang digunakan mungkin mengandung senyawa kimia yang justru memperkuat pengaruh buruk dari indoor pollution (pewangi ruangan) terhadap factor-faktor yang penting untuk spermiogenesis, sehingga meskipun ukuran diameter tubulus seminiferous pada kelompok Carbon plus Pewangi cukup besar, namun memiliki jumlah spermatozoa paling sedikit.

Kemungkinan ketiga adalah masalah waktu yang diperlukan dalam proses spermatogenesis dan spermiogenesis. Untuk memperbaiki fungsi suatu organ rubuh, terlenihdahulu harus terjadi perbaikan struktur. Termasuk juga dalam hal ini adalah perbaikan struktur tubulus seminiferous testis. Untuk menghasilkan spermatozoa yang dapat dihitung di bagian cauda epididymis, terlebih dahulu terjadi proses spermatogenesis di tubulus seminiferous. Proses ini tentu saja memerlukan waktu cukup panjang. Jadi spermatozoa yang terhitung pada saat pengambilan bagian cauda ductus epididymis bukanlah spermatozoa yang dihasilkan oleh proses spermatogenesis yang dihasilkan oleh tubulus seminiferous yang diambil pada penelitian ini, melainkan yang dihasilkan oleh proses spermatogenesis sebelumnya.

Kemungkinan keempat adalah bahwa penggunaan Carbon berpengaruh negative terhadap jumlah spermatozoa, tetapi tidak berpengaruh terhadap ukuran diameter tubulus seminiferous. Hal ini tercermin dari hasil uji statistic yang meskipun tidak berbeda nyata, namun memiliki selisih jumlah yang cukup besar jika dibandingkan dengan kelompok control.

Jika membandingkan antara kelompok control dengan kelompok Carbon, terlihat bahwa penggunaan Carbon tidak menunjukkan pengaruh buruk terhadap kesehatan, khususnya histologi system reproduksi jantan. Hal ini terlihat dari ukuran diameter tubulus seminiferous pada kelompok Carbon yang tidak berbeda signifikan dengan kelompok Kontrol.

Penelitian oleh GuoBing, *et.al* (2001) menunjukkan bahwa benzene, toluene dan xilena dapat mempengaruhi kualitas air mani dan sperma dengan langsung mempengaruhi testis dan atau fungsi gonade aksesori. Hasil penelitian oleh GuoBing tersebut mendukung hasil yang diperoleh dalam penelitian ini. Pada penelitian ini kelompok yang didedahkan pada *indoor pollution* (Pewangi ruangan) memiliki jumlah sperma yang rendah. Hal ini dapat dijelaskan, karena pada pewangi ruangan juga terkandung senyawa-senyawa volatile tersebut.

Hal yang masih perlu dikaji lebih lanjut, adalah hasil perhitungan jumlah sperma yang paling sedikit justru pada kelompok Carbon plus Pewangi ruangan. Padahal, jumlah sperma pada kelompok yang diberi perlakuan Carbon memiliki jumlah sperma yang lebih banyak daripada kelompok Pewangi. Secara logika, seharusnya kelompok hewan coba yang diberi perlakuan Carbon dan Pewangi ruangan akan memiliki jumlah sperma lebih banyak daripada kelompok Pewangi maupun Carbon. Secara teori, dengan penggunaan Carbon sebagai adsorben indoor pollution, seharusnya akan mengurangi dampak negative pewangi ruangan, karena senyawa pollutant yang ada di dalam udara ruangan diserap oleh Carbon aktif. Hasil ini dapat kemungkinan disebabkan oleh beberapa factor :

Pertama kemungkinan dosis Carbon aktif yang digunakan kurang besar, sehingga pollutant yang disebabkan oleh pewangi ruangan tidak mampu diadsorbi oleh Carbon aktif.

Kedua, ada kemungkinan penggunaan Carbon aktif justru menyebabkan terjadinya reaksi antara senyawa pollutant dengan senyawa yang terkandung di dalam Carbon aktif. Hal ini mungkin terjadi karena kita sebagai konsumen, tidak mengetahui bahan dasar serta cara pembuatan Carbon aktif tersebut. Hal ini tidak menutup kemungkinan bahwa pada tahap pembuatan Carbon aktif melibatkan penggunaan senyawa-senyawa kimia.

Hasil pengukuran diameter tubulus seminiferous dan penghitungan jumlah spermatozoa pada penelitian ini seakan saling bertolak belakang. Pada kelompok Pewangi plus Carbon aktif memiliki diameter tubulus seminiferous paling besar, namun memiliki jumlah spermatozoa paling sedikit. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Bahwa pembentukan sperma dari sel-sel spermatogenik, sampai dengan selesai terbentuk spermatozoa yang masak memerlukan waktu yang relative

panjang (pada manusia sekitar 64 -72 hari). Panjangnya proses pembentukan spermatozoa ini memungkinkan terjadinya perbedaan hasil antara keadaan gambaran histologi tubulus seminiferous dan jumlah spermatozoa yang dihitung (masak). Sperma yang keluar/terhitung adalah hasil spermatogenesis yang terjadi sebelumnya, dan bukan dari proses spermatogenesis tubulus seminiferous yang teramati.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

1. Hasil penelitian ini belum sepenuhnya mengungkap keamanan penggunaan carbon aktif sebagai adsorben agen *indoor pollution* terhadap kesehatan melalui pengamatan histologi (jaringan) organ sistem reproduksi jantan.
2. Carbon aktif berpotensi sebagai adsorben agen *indoor pollution* dalam mengurangi risiko kerusakan jaringan organ sistem reproduksi jantan akibat *indoor pollution*.

B. SARAN

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait keamanan penggunaan carbon aktif sebagai adsorben agen *indoor pollution* terhadap kesehatan, ke organ-organ lain seperti : system respirasi, organon visus, dll., agar dapat diperoleh informasi yang lebih banyak.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan, dengan penggunaan carbon aktif yang lebih bervariasi baik dalam jenis, maupun dosis, sehingga diperoleh informasi yang lebih luas dan detil tentang potensi carbon aktif sebagai adsorben agen indoor pollution dan pengaruhnya terhadap kesehatan.
3. Perlu dilakukan penelitian sejenis, dengan waktu pemberian perlakuan lebih dini dan durasi yang lebih lama, sehingga diperoleh informasi yang lebih mendalam tentang pengaruh carbon aktif terhadap kesehatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2011, *Karbon Aktif*, Artikel, diakses tgl 20 Maret 2015, diakses dari http://www.purewatercare.com/karbon_aktif.php
- Anonim, 2014, Aneka Fungsi Karbon Aktif, Posting June 10 2014, diakses tgl 20 Maret 2015 dari <http://nanosmartfilter.com/aneka-fungsi-karbon-aktif/>.
- Bhattacharya, N., Dufour, JM., Vo, MN., Okita, J., Okita, R., Kim, KH. 2005. Differential effects of phthalates on the testis and the liver. *Biol Reprod*, 2005; 72 (3): 745-54.
- David,A (2006), Pemanfaatan Ilmenit (FeTiO₃) dan karbon aktif sebagai adsorben gas buang sepeda motor 4 langkah untuk pengendalian polusi udara, Thesis,S2 Ilmu Lingkungan (Magister Pengelolaan Lingkungan UGM,diakses tgl 21 Maret 2015 dari : http://etd.ugm.ac.id/index.php?mod=penelitian_detail&sub=PenelitianDetail&act=view&typ=html&buku_id=32807
- Dehnel, T.L. 2008. *The Effect of Phthalates on the Male Reproductive System*. University of Maryland. Diakses dari <http://www.life.umd.edu/grad/mlfsc/PHTHALATES%20AND%20THE%20MALE%20REPRODUCTIVE%20SYSTEM.pdf> pada tanggal 15 April 2012.
- Eroschenko, Victor P. (2003). *Atlas Histologi di Fiore* (Edisi 9). EGC: Jakarta. Hal. 231-232.
- Fisher, J.S. 2004. Environmental anti-androgens and male reproductive health: focus on phthalates and testicular dysgenesis syndrome. *Reproduction*, 2004; 127 (3): 305-15.
- Freed, L. & Wilson, D. 2009. *The Science of Air Fresheners..The Science of Air Fresheners*. Diakses dari (www.national-toxic-encephalopathy-foundation.org/airfreshener.ppt, pada tanggal 14 april 2012).
- Gules,E., & Eren, O. 2010, The Effect of Xylene and Formaldehyde Inhalation on Testicular Tissue in Rats*. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 2010; 23 (11): 1412 – 1420.
- GuoBing XIAO*, CuiBao PAN, YaoZhang CAI, Hui LIN and ZhanMing FU, 2001, Effect of Benzene, Toluene, Xylene on the Semen Quality and the Function of Accessory Gonad of Exposed Workers, *Industrial Health* 2001, **39**, 206–210
- Habert, R., Muczynski, V., Lehraiki, A., Lambort, R., Lécureuli,C., Levacher C., *et al.* 2009. Adverse Effects of Endocrine Disruptors on the Foetal Testis Development : Focus on Phthalates. *Folia Histochem Cytobiol*, 2009; 47 (5): s67-s74.
- Hanke, W., Jansson, B., Komulainen, H., Ladefoged, O., Mangelsdorf, I., Steenhout, A., Testai, E. 2007. *Opinion on Risk Assesment on Indoor Air Quality*. http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scher/docs/scher_o_055.pdf, diakses tanggal 31 Maret 2012).

- Heryani, L.G.S.S., Susari, N.N.W., Kardena, I.M., Laksmi, D.N.D.I. 2011. Pendedahan Formalin Menghambat Proses Spermatogenesis pada Mencit. *Jurnal Veteriner*, 12 (3): 214-220.
- Junqueira, Luiz C., & Carneiro, J. (2007). *Histologi Dasar* (Edisi 8). EGC: Jakarta. Hal. 335-342.
- Kun Yang, Lizhong Zhu & Baoshan Xing, 2006, Adsorption of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Carbon Nanomaterials, *Environ. Sci. Technol.*, 2006, 40 (6), pp 1855–1861, Publication Date (Web): February 16, 2006, diakses tgl 13 Maret 2015 dari <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es052208w>
- Lee, YJ., Lee, E., Kim, TH., Choi, JS., Lee, J., Jung, KK., *et al.* 2009. Effect of Di(2-ethylhexyl) Phthalate on Regulation of Steroidogenesis or Spermatogenesis in Testes of Sprague-Dawley Rats. *Journal of Health*, 2009; 55 (3): 380-388.
- Multiple Chemical Sensitivity. (2005). Let's Clear the Air About Air Fresheners And Plug-Ins. Diakses tanggal 8 April 2011 dari www.mcs-america.org/airfresh.pdf
- Nayoan, CR & Berek, NC (2003), Perbedaan Efektifitas Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Arang Kayu dalam Menurunkan Tingkat Kekeuhan pada Proses Filtrasi Pengolahan Limbah Cair dan Industri Tahu. Artikel. Diakses tanggal 21 Maret 2015 dari <https://mediakesehatanmasyarakat.files.wordpress.com>
- Nazaroff, W., Coleman, K., Destailats, H., Hodgson, T., Liu, De-Ling. 2006 *Indoor Air Chemistry: Cleaning Agents, Ozone and Toxic Air Contaminants*. University of California Berkeley. Diakses dari http://www.arb.ca.gov/research/apr/past/01-336_a.pdf tanggal 30 Maret 2012
- Nguyen, TT., Jung, EM., Yang, H., Hyun, SH., Choi, KC., Jeung, E.B. 2010. Potential Endokrin Disrupting Effects of Phtalates in In vitro and In Vivo Models. *J. Emb. Trans.* 2010; 25 (4): 207-213
- Raharjo, D, Mustamir, E dan Suryadi, UE, 2012, Uji Efektivitas Beberapa Jenis Arang Aktif dan Tanaman Akumulator Logam pada Lahan Bekas Penambangan Emas, *J Perkebunan & Lahan Tropika*, Vol.2.No.2. Desember 2012
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2012, *Toxicological Review of Formaldehyde Inhalation Toxicity*. 2010. EPA/635/R-10/002C., *cit.* [Anh Duong](#), [Craig Steinmaus](#), [Cliona M. McHale](#), [Charles P. Vaughan](#), and [Luoping Zhang](#), 2011, Reproductive and Developmental Toxicity of Formaldehyde: A Systematic Review, [Mutat Res.](#) 2011 November; 728(3): 118–138. Published online 2011 July 20. doi: [10.1016/j.mrrev.2011.07.003](https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2011.07.003) diakses tgl 9 Desember 2013 dikutip dari <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3203331/>
- Viktor. 2008, *Bahaya Pengharum Ruangan Buat Anak*. Sumatera Barat: Dinas Kesehatan.

- Wuntu, AD & Kamu, VS, (2008), Adsorpsi Aseton, Benzena dan Toluena pada Carbon Aktif Tempuung Kelapa sebagai Pembersih Udara Ruang Tertutup, *Chem.Prog.Vol.1, No.2, November 2008*
- Wetzel, Chad. (2009). *Air Fresheners*. Diakses tanggal 6 April 2011 dari <http://toxipedia.org/display/toxipedia/Air+Fresheners#AirFresheners-Overview> .
- World Health Organisation. (2005). *Indoor Air Pollution and Health*. Diakses tanggal 10 Maret 2011 dari <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/en/> .
- World Health Organisation , 2011, *Air Pollution*, http://www.who.int/topics/air_pollution, diakses Maret 2011
- Yuningtyaswari, dan Zulkhah Noor, 2013, Comparison Effect of Gel and Spray Air Freshener Exposure on Diameter of Seminiferous Tubules and Concentration Sperm of White Rat (*Rattus norvegicus*), *KnE Life Sciences* / *Int. Conf. on Biological Sciences (ICBS) 2013* | pages 500-503 DOI: 10.18502/cls.v2i1.203 diakses dari <http://knepublishing.com/index.php/Kne-Life/article/view/203>, diakses tanggal 20 April 2016