

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kondisi air-ujian

Air sungai Siak telah digunakan sebagai air-uji dari beberapa perlakuan konsentrasi limbah komposit (limbah pulp & paper, kelapa sawit, karet dan plywood) terhadap 3 (tiga) spesies makrozoobentos (*Digoniostoma* sp., *Salinator* sp. dan *Syncera* sp.). Parameter-parameter kualitas air sungai Siak di kawasan Pekanbaru adalah seperti dalam Tabel 4.1, di bawah ini :

Tabel 4.1. Nilai-nilai parameter kualitas air sungai Siak yang telah diukur di kawasan Pekanbaru

No	Jenis Parameter Kualitas Air	Kisaran Hasil Pengukuran (mg/l)	SK Gubernur No.: 195/IV/91 (mg/l)	PP. No. 20/1990 (mg/l)
1.	Biological Oxigen Demand (BOD)	6,1-28,0	5,0	-
2.	Chemical Oxigen Demand (COD)	28,1-73,0	8,0	-
3.	Total Suspended Solid (TSS)	31,0-71,0	-	-
4.	Kelarutan Oksigen) (DO)	1,3-5,4	6	6

Sumber : Laporan Tahunan Program Kali Bersih Propinsi Riau Tahun 1999/2000 (PEMDA, 2000).

Dari Tabel 4.1 di atas terlihat bahwa kisaran BOD adalah 6,1-28,0 mg/l, COD 28,1-73,0 mg/l, TSS 31-71 mg/l dan DO adalah 1,3-5,1 mg/l. Bila angka-angka ini dibandingkan dengan ketentuan SK. Gubernur Kpts. 195/IV/91 dan PP No. 20/1990 bahwa air sungai Siak tergolong kepada golongan B, karena Nilai Ambang Batas untuk parameter BOD maksimal 5,0 mg/l, COD 8 mg/l dan DO minimal 6 mg/l. Jelas, bahwa nilai-nilai parameter-parameter

tersebut dalam Tabel 4.1 adalah di atas atau melebihi Nilai Baku Mutu yang ditetapkan, kecuali DO yang lebih rendah daripada yang dipersyaratkan yaitu lebih kecil dari 6 mg/l. Untuk itu, air sungai Siak bukanlah air yang baik untuk digunakan sebagai bahan baku air minum, akan tetapi bila dibandingkan dengan hasil penelitian yang disarankan oleh SYAFRIADIMAN (1999), RAND dan PETROCELLI (1985) kisaran nilai DO (3 mg/l) dan TSS (lebih besar dari 70.0 mg/l) masih bisa digunakan air ujian untuk percobaan toksisitas.

Penyebab terjadinya nilai-nilai parameter kualitas air sungai Siak begitu besar adalah akibat dibangunnya berbagai industri di DAS Siak sebanyak 24 industri yang beroperasi. Secara umum, jenis industri tersebut adalah industri kertas (Pulp and paper), minyak sawit, plywood dan lem seperti dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Beban limbah cair beberapa industri yang dibuang ke sungai Siak

No.	Jenis Industri	Jenis Parameter Kualitas Air yang diukur			
		BOD (ton/thn)	COD (ton/thn)	TSS (ton/thn)	LMK (ton/thn)
1.	Pulp and Paper	3.964,400	8.416,800	4.895,900	-
2.	Minyak Sawit	233,040	390,400	342,955	1,730
3.	Crumb Rubbers	75,950	167,210	99,540	-
4.	Plywood & Lem	52,178	104,300	12,440	-
Total		4.324,568	9.078,710	5.350,835	1,730

Sumber : Laporan Tahunan Program Kali Bersih Propinsi Riau Tahun 1999/2000 (PEMDA, 2000).

Dari Tabel 4.2 di atas, terlihat bahwa kontribusi utama penyebab terjadinya pencemaran air sungai Siak adalah dari industri Pulp & paper, kemudian diikuti oleh industri minyak sawit, crumb rubbers, plywood dan lem. Walaupun demikian, berdasarkan hasil pemantauan oleh Prokasih dari tahun ke tahun sejak tahun 1991 sampai tahun 2000,

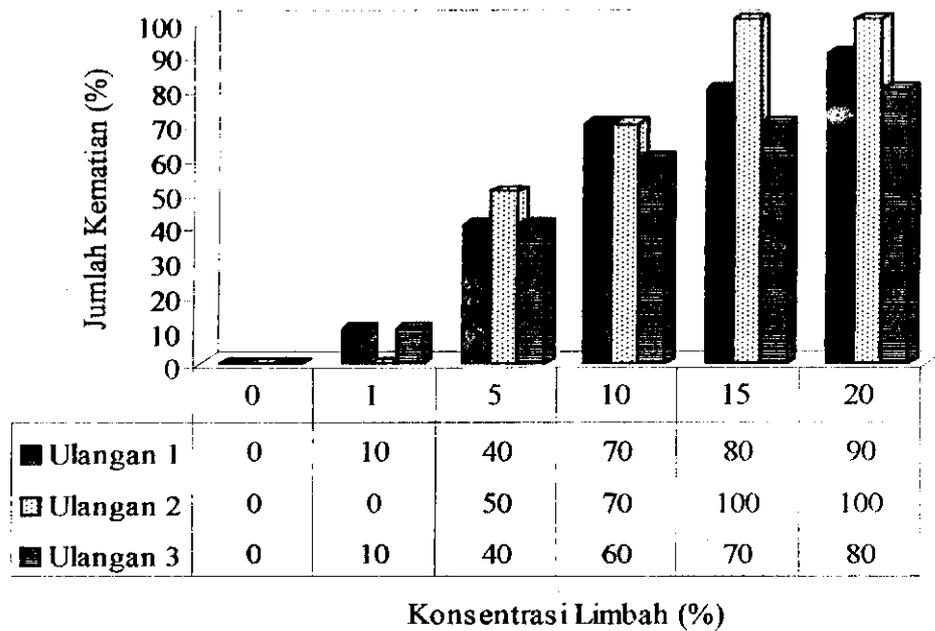
beban limbah yang dibuang ke sungai Siak menunjukkan penurunan yang berarti (PEMDA, 2000). Jelas, bahwa kualitas air sungai Siak dari tahun ke tahun semakin meningkat. Hal ini mungkin disebabkan oleh meningkatnya buangan limbah industri dan buangan perkotaan yang masuk ke sungai akibat perubahan musim, kegiatan-kegiatan yang kontinue dari berbagai perusahaan-perusahaan yang ada di DAS Siak, akibat pasang surut yang cukup tinggi, kegiatan-kegiatan industri pertanian di pinggiran sungai Siak, dan aktivitas-aktivitas kapal serta buangan sampah dan tumpahan minyak dari kapal-kapal angkutan yang melalui sungai Siak.

4.2 Toksisitas limbah industri secara komposit terhadap beberapa spesies makrozoobentos

Kesan ketoksitan limbah industri secara komposit (limbah pulp & paper, kelapa sawit, karet dan plywood) terhadap 3 (tiga) jenis makrozoobentos (*Digoniostoma* sp., *Salinator* sp. dan *Syncera* sp.) telah diamati setiap 12 jam selama 96 jam adalah dalam Lampiran 1, 2 dan 3.

4.2.1. Makrozoobentos, *Digoniostoma* sp.

Persentase kematian makrozoobenthos, *Digoniostoma* sp. (Lampiran 4) yang didedahkan dengan air-uji, yaitu limbah industri secara komposit (limbah pulp & paper, kelapa sawit, karet dan plywood) selama ujian akut dengan sistem statik adalah seperti dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1: Diagram persentase kematian makrozoobentos, *Digoniostoma* sp. akibat limbah industri secara komposit (limbah pulp & paper, kelapa sawit, karet dan plywood) selama 96 jam, tahun 2001

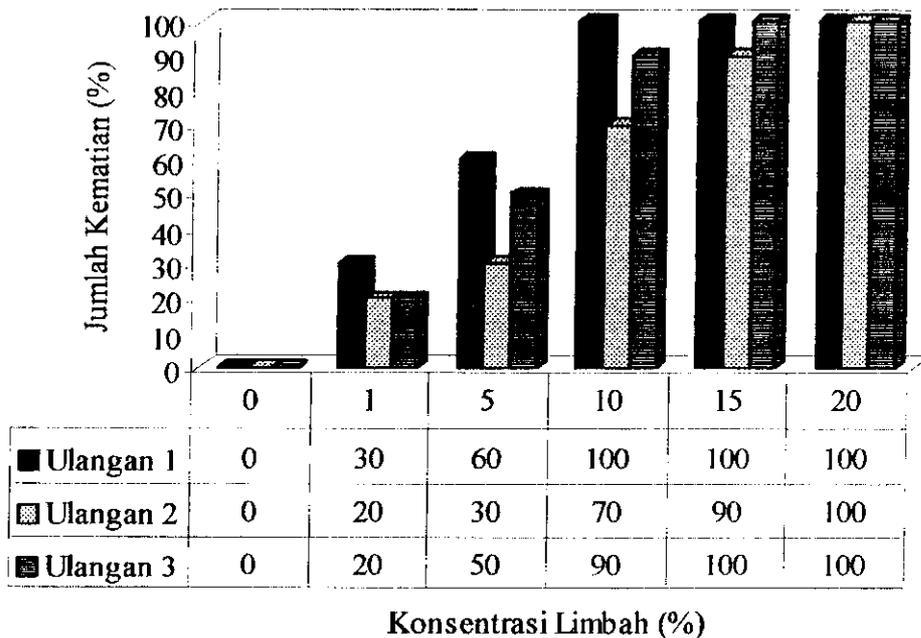
Gambar 4.1 menunjukkan bahwa persentase kematian makrozoobentos, *Digoniostoma* sp. pada setiap ulangan percobaan adalah meningkat dengan meningkatnya konsentrasi limbah industri. Selama percobaan kontrol tidak menunjukkan kematian selama 96 jam, sedangkan kematian yang paling banyak selama penelitian adalah pada konsentrasi 20%. Kematian makrozoobentos, *Digoniostoma* sp. adalah disebabkan oleh air-uji limbah industri. Hal ini sesuai dengan hasil anova pada Lampiran 5.1, menunjukkan bahwa kematian *Digoniostoma* sp. adalah 38,13% disebabkan oleh limbah industri, 48,89% oleh lama waktu pendedahan dan 11,43% disebabkan oleh interaksi antar keduanya. Nilai F hitung baik untuk limbah industri, lama waktu pendedahan dan interaksi keduanya adalah lebih besar dari F tabel (Lampiran 5.1), ini menunjukkan bahwa perlakuan yang diujikan

selama percobaan adalah sangat signifikan pada tingkat kepercayaan 99% dengan kematian makrozoobentos, *Digoniostoma* sp.

Jelas, bahwa jumlah kematian makrozoobentos, *Digoniostoma* sp. adalah berbeda-beda pada tingkat konsentrasi limbah industri yang berbeda. Semakin tinggi konsentrasi limbah industri akan semakin tinggi pula jumlah kematian makrozoobentos, *Digoniostoma* sp.

4.2.2. Makrozoobentos, *Salinator* sp.

Persentase kematian makrozoobentos, *Salinator* sp. adalah dalam Gambar 4.2, dan secara rinci adalah dalam Lampiran 2.



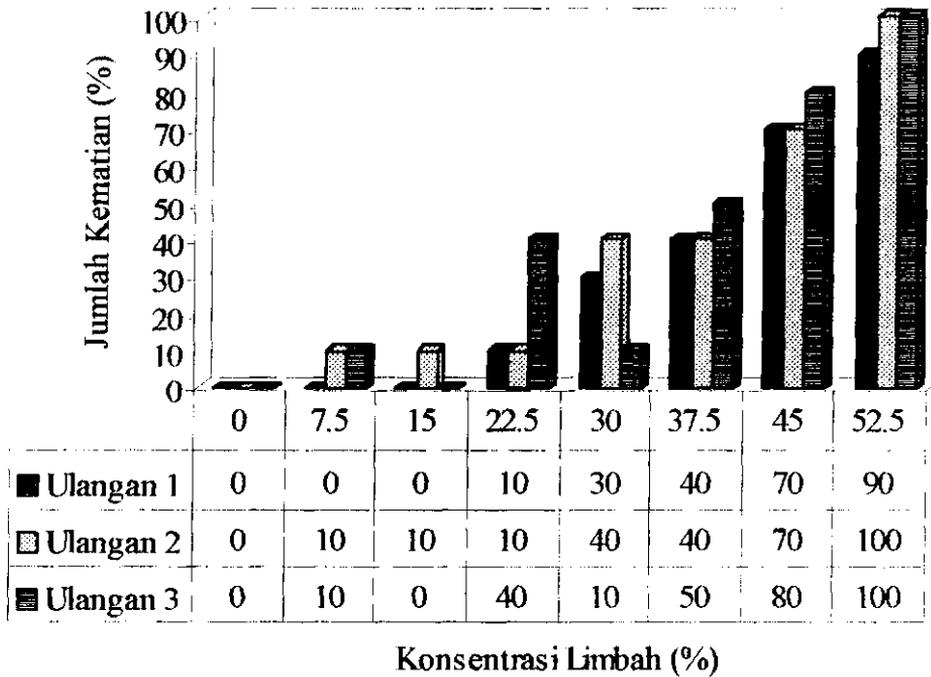
Gambar 4.2: Persentase kematian makrozoobentos, *Salinator* sp. akibat limbah industri secara komposit (limbah pulp & paper, kelapa sawit, karet dan plywood) selama 96 jam, tahun 2001

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa persentase kematian makrozoobentos, *Salinator* sp. pada setiap ulangan percobaan adalah menunjukkan hampir sama dengan *Digoniostoma* sp. Meningkatnya konsentrasi limbah industri juga akan menyebabkan peningkatan jumlah kematian makrozoobentos, *Salinator* sp. Selama penelitian, pada percobaan kontrol tidak menunjukkan kematian selama 96 jam, sedangkan jumlah kematian yang paling banyak adalah pada konsentrasi 20%. Untuk itu, jelas bahwa kematian makrozoobentos, *Salinator* sp. juga disebabkan oleh limbah industri. Berdasarkan hasil anova pada Lampiran 5.2 menunjukkan bahwa kematian makrozoobentos, *Salinator* sp. adalah 66.66% disebabkan oleh limbah industri, 19.32% oleh lama waktu pendedahan dan 8.12% adalah disebabkan oleh interaksi antar keduanya. Nilai F hitung adalah lebih besar dari F tabel pada tingkat kepercayaan 99%, baik untuk limbah industri, lama waktu pendedahan maupun interaksi keduanya.

Jumlah kematian makrozoobentos, *Salinator* sp. adalah berbeda-beda pada konsentrasi limbah industri yang berbeda. Semakin tinggi konsentrasi limbah industri akan semakin tinggi pula jumlah kematian makrozoobentos, *Salinator* sp. Hal ini juga sesuai dengan yang dikemukakan oleh **RAND, PETROCELLI (1985)** dan **SYAFRIADIMAN (1999)**, bahwa jumlah kematian organisme akan meningkat sesuai dengan peningkatan konsentrasi bahan toksis (racun).

4.2.3. Makrozoobentos, *Syncera* sp.

Persentase kematian makrozoobentos, *Syncera* sp. adalah dalam Gambar 4.3, dan secara rinci adalah dalam Lampiran 2.



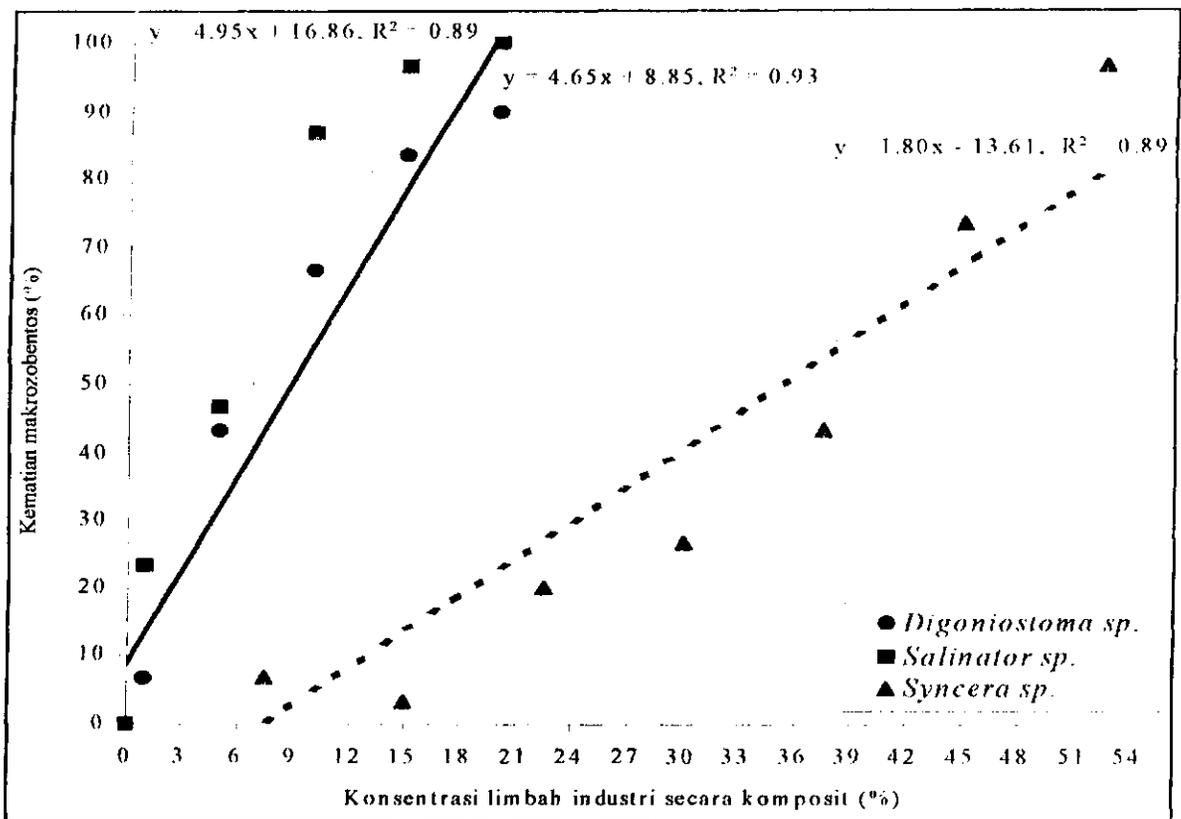
Gambar 4.3: Persentase kematian makrozoobentos, *Syncera* sp. akibat limbah industri secara komposit (limbah pulp & paper, kelapa sawit, karet dan plywood) selama 96 jam, tahun 2001

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa persentase kematian makrozoobentos, *Syncera* sp. pada setiap ulangan percobaan juga menunjukkan keadaan yang hampir sama dengan makrozoobentos, *Digoniostoma* sp., dan *Salinator* sp., walaupun konsentrasi air-uji yang diperoleh pada saat uji pendahuluan didapati tidak sama dengan makrozoobentos, *Digoniostoma* sp., dan *Salinator* sp. Meningkatnya konsentrasi limbah industri juga menyebabkan peningkatan jumlah kematian makrozoobentos, *Syncera* sp. Jumlah kematian

yang paling banyak selama penelitian adalah pada konsentrasi limbah industri 52,5%, adalah berbeda dengan makrozoobentos, *Digoniostoma* sp., dan *Salinator* sp. Walaupun demikian, pada percobaan kontrol makrozoobentos, *Syncera* sp. juga tidak menunjukkan kematian selama 96 jam, seperti pada percobaan makrozoobentos, *Digoniostoma* sp., dan *Salinator* sp.

Jelas bahwa kematian makrozoobentos, *Syncera* sp. juga disebabkan oleh limbah industri. Berdasarkan hasil anova pada Lampiran 5.3 menunjukkan bahwa kematian makrozoobentos, *Syncera* sp. adalah 70,69% disebabkan oleh limbah industri, 16,96% oleh lama waktu pendedahan dan 8,30% adalah disebabkan oleh interaksi antar keduanya. Nilai F hitung adalah lebih besar dari F tabel pada tingkat kepercayaan 99%. Ini menunjukkan perbedaan jumlah kematian yang sangat signifikan baik antar limbah industri, lama waktu pendedahan maupun interaksi keduanya (Lampiran 5.3). Jelas, bahwa semakin tinggi konsentrasi limbah industri akan semakin tinggi pula jumlah kematian makrozoobentos, *Syncera* sp. Hal ini juga sesuai dengan yang dikemukakan oleh **RAND, PETROCELLI (1985)** dan **SYAFRIADIMAN (1999)**.

Hubungan antara jumlah kematian makrozoobentos dengan berbagai konsentrasi limbah industri adalah berkorelasi positif (Gambar 4.4), dengan nilai r adalah 0,94 untuk *Digoniostoma* sp., 0,96 untuk *Salinator* sp. dan *Syncera* sp. adalah 0,94. Nilai-nilai ini menunjukkan hubungan yang kuat di antara jumlah kematian masing-masing organisme makrozoobentos dengan konsentrasi limbah industri. Dari Gambar 4.4, menunjukkan bahwa kematian makrozoobentos, *Digoniostoma* sp. adalah 93%, *Salinator* sp. adalah 89% dan *Syncera* sp. adalah 89% disebabkan oleh limbah industri.



Gambar 4.4: Hubungan jumlah kematian makrozoobentos dengan berbagai konsentrasi air-uji limbah industri secara komposit dari limbah pulp & paper, kelapa sawit, karet dan plywood.

Secara umum, proses kematian dari ketiga jenis makrozoobentos ini adalah disebabkan oleh terganggunya proses biologi, seperti terjadinya perubahan warna tubuh dari kuning kecoklatan menjadi putih kecoklatan hingga kelihatan pucat dan otot-ototnya menjadi kejang akibat pengaruh air-uji limbah industri. Kekejangan pada otot-otot adalah salah satu tanda bahwa makrozoobentos akan mengalami kematian. Tanda kematian makrozoobentos selama penelitian ini adalah dapat dipastikan dengan melakukan beberapa kali sentuhan pada cangkang makrozoobentos, jika reaksi otot-otot makrozoobentos

lambat, berarti ini menunjukkan bahwa otot-otot telah menjadi kejang, dan ini merupakan salah satu tanda-tanda bahwa makrozoobentos akan mengalami kematian.

Hal yang hampir sama dengan yang dikemukakan oleh SYAFRIADIMAN (1999) bahwa kematian oyster adalah disebabkan selain oleh logam berat Cd, Zn, Ni dan Co adalah disebabkan proses perubahan biologi, yaitu terjadinya perubahan warna dari merah kecoklatan menjadi putih kehijauan, dan gerakan otot aduktornya menjadi lambat apabila disentuh (spat tiram seakan-akan mabuk). Bila terjadi kekejangan pada otot aduktor ini adalah satu tanda akan kematian oyster. VERRIOPOULUS & HARDOUVELIS (1988) melaporkan bahwa kematian organisme adalah disebabkan oleh terganggunya proses osmoregulasi dan respirasi organisme tersebut akibat penumpukan logam Zn pada mantel organisme.

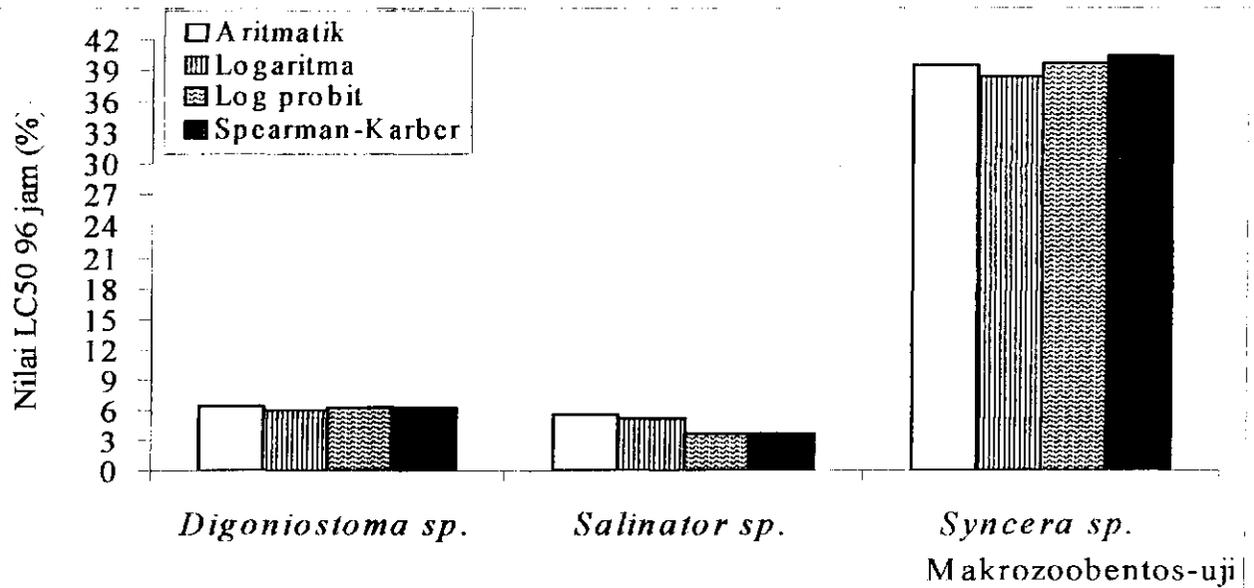
4.3. Nilai LC50 96 jam dan Paras Selamat Biologi

Tabel 4.3 dan Gambar 4.5 menunjukkan nilai-nilai LC50 96 jam dari limbah industri untuk makrozoobentos, *Digoniostoma* sp., *Salinator* sp. dan *Syncera* sp. menurut metode aritmetik, logaritma, log probit dan Spearman-Kärber. Secara terperinci grafik penentuan nilai LC50 96 jam untuk masing-masing metoda adalah dalam Lampiran 6, 7, 8 dan 9.

Nilai LC50 96 jam limbah industri untuk makrozoobentos, *Digoniostoma* sp. adalah berkisar di antara 4,79-7,60% dengan rerata 6,20%, *Salinator* sp. adalah berkisar di antara 2,59-7,60% dengan rerata 4,40% dan *Syncera* sp. adalah berkisar di antara 36,14-42,46% dengan rerata 39,44% (Tabel 4.3). Dari Gambar 4.5 menunjukkan bahwa nilai LC50 96 jam yang paling tinggi adalah spesies makrozoobentos, *Syncera* sp. dan yang paling rendah adalah makrozoobentos, *Salinator* sp.

Tabel 4.3: Nilai LC₅₀ 96 jam air-uji limbah industri secara komposit dari limbah pulp & paper, kelapa sawit, karet dan plywood dengan menggunakan kaedah Aritmetik, Logaritma, Logprobits dan Spearman-Karber untuk makrozoobentos, *Digoniostoma* sp., *Salinator* sp. dan *Syncera* sp. dari perairan Sungai Siak, Pekanbaru

Jenis Makrobenthos	Ulangan	Aritmatik (%)	Logaritma (%)	Logprobit (%)	Spearman-Karber (%)	Rerata (%)
<i>Digoniostoma</i> sp.	1	4,90	4,79	5,01	7,23	5,48
	2	6,70	6,17	6,41	6,41	6,42
	3	7,60	7,08	7,08	5,07	6,71
	Rerata	6,40	6,01	6,17	6,24	6,20
<i>Salinator</i> sp.	1	3,85	2,88	2,63	2,59	2,99
	2	5,00	5,01	3,21	3,24	4,12
	3	7,60	7,24	4,79	4,79	6,10
	Rerata	5,48	5,05	3,54	3,54	4,40
<i>Syncera</i> sp.	1	37,50	37,15	37,15	36,14	36,99
	2	40,30	38,90	41,02	42,46	40,67
	3	40,30	38,90	41,02	42,46	40,67
	Rerata	39,37	38,32	39,73	40,35	39,44



Gambar 4.5: Histogram rerata nilai LC₅₀ 96 jam limbah industri untuk makrozoobentos, *Digoniostoma* sp., *Salinator* sp. dan *Syncera* sp. yang diperinci menurut metoda aritmatik, logaritma, log probit dan Spearman-Karber

Nilai-nilai LC₅₀ 96 jam limbah industri yang paling tinggi adalah spesies makrozoobentos, *Syncera* sp. Ini mungkin disebabkan oleh karena ukuran spesies ini adalah lebih besar dari makrozoobentos, *Digoniostoma* sp. maupun *Salinator* sp. (Gambar pada Lampiran 4) menyebabkan lebih tahan terhadap pengaruh limbah industri. Sedangkan makrozoobentos, *Salinator* sp. pula nilai LC₅₀ 96 jam adalah kecil. Ini juga mungkin disebabkan oleh ukurannya yang lebih kecil. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh SYAFRIADIMAN (1999), RAND dan PETROCELLI (1985), WATLING (1978; 1982), AWALUDDIN & MOKHTAR (1996) bahwa organisme-uji berukuran kecil dalam ujian akut adalah lebih sensitif terhadap bahan toksis jika dibandingkan dengan organisme yang berukuran besar, khususnya yang berasal dari spesies moluska dan udang-udangan.

Hasil anova menunjukkan bahwa nilai-nilai LC₅₀ 96 jam yang ditentukan dengan empat metoda, yaitu metoda aritmatik, logaritma, log probit dan Spearman-Kärber tidak menunjukkan perbedaan yang berarti ($p > 0,01$), sedangkan nilai-nilai LC₅₀ 96 jam menurut jenis organisme makrozoobentos adalah menunjukkan perbedaan yang sangat berarti ($p < 0,01$) (Tabel 4.4).

Tabel 4.4: Analisis varian (Anova) dari beberapa metoda penentuan nilai LC₅₀ 96 jam limbah industri untuk berbagai organisme makrozoobentos (*Digoniostoma* sp., *Salinator* sp. dan *Syncera* sp.) dari perairan Sungai Siak, Pekanbaru

Sumber	Jumlah Kuadrat	D.F.	Rerata Kuadrat	F hitung	F tabel	
					5%	1%
Metode Penentuan Nilai LC ₅₀ 96 jam	2,276	3	0,759	0,24	3,01	4,72
Jenis organisme	9342,882	2	4671,441	1458,46	3,40	5,61
Interaksi	13,695	6	2,282	0,71	2,51	3,67
Kesalahan	76,872	24	3,203			
Total	9435,725	35				

Jadi, urutan rerata nilai LC₅₀ 96 jam limbah industri dengan menggunakan 4 (empat) metoda mengikut spesies makrozoobentos adalah *Syncera* sp. (39,44%) > *Digoniostoma* sp. (6,20%) > *Salinator* sp. (4,40%). Ini menunjukkan bahwa makrozoobentos, *Syncera* sp. lebih kuat/tahan terhadap pengaruh limbah daripada *Digoniostoma* sp. dan *Salinator* sp., atau sebaliknya makrozoobentos, *Salinator* sp. adalah lebih sensitif jika dibandingkan dengan makrozoobentos, *Digoniostoma* sp. dan *Syncera* sp.

Sebelum terganggunya proses biologi dari organisme makrozoobentos, kematian organisme juga disebabkan oleh tingginya konsentrasi BOD, COD dan TSS limbah industri baik industri pulp & paper, kelapa sawit, karet dan plywood. Menurut KHAN (1990) bahwa limbah buangan industri karet (“crumb rubber”) adalah mengandung unsur logam Zn, Sb, Se, minyak dan gris yang tinggi (DOE, 1991; HUTAGALUNG, 1991). Limbah industri kelapa sawit diketahui mengandung Pb, Cd, Cu dan Zn (KHAN, 1990). Limbah buangan industri kertas (pulp and paper) adalah mengandung unsur logam Ag, Cd, Co, Cu, Hg dan Sn. Limbah buangan industri Plywood dan lem plywood mengandung unsur logam Cd, Co, Cu, Se, Sn dan Zn (DOE, 1991; HUTAGALUNG, 1991). Secara rinci adalah dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.6: Kandungan unsur-unsur buangan limbah beberapa jenis industri

No.	Jenis Industri	Unsur	Sumber
1.	Pulp and paper	Ag, Cd, Co, Cu, Hg, Sn	HUTAGALUNG (1991)
2.	Crumb rubber	Zn, Sb, Se	DOE (1991), HUTAGALUNG (1991)
3.	Kelapa Sawit	Pb, Cd, Cu dan Zn	KHAN (1990), HUTAGALUNG (1991)
4.	Plywood	Cd, Co, Cu, Sn	DOE (1991), HUTAGALUNG (1991)
5.	Lem plywood	Cd, Co, Cu, Se, Sn, Zn	HUTAGALUNG (1991)

Proses terjadinya kematian mungkin disebabkan oleh unsur-unsur logam Ag, Cd, Co, Cu, Hg, Sn, Zn, Sb, Se, Pb dan Se. Logam-logam ini umumnya tergolong logam berat yang sangat berbahaya bagi kehidupan organisme. Beberapa logam di antaranya, seperti logam Cd, Cu, Zn dan Pb telah diketahui nilai-nilai LC₅₀ 96 jam untuk berbagai organisme.

Paras Selamat Biologi organisme makrozoobentos, *Syncera* sp. dari limbah industri adalah 0,39%, *Digoniosstoma* sp. adalah 0,06% dan *Salinator* sp. adalah 0,04%. Application factor yang digunakan dalam penelitian ini adalah sesuai dengan yang digunakan oleh **DENTON & BULDON-JONES (1982)**, **EPA (1993)**, **AWALUDDIN *et al.* (1996)**, **TRAIN (1979)** dan **MARZUKI (1994)**.

4.4. Bio-indikator Pencemaran

Pemakaian organisme hidup sebagai indikator pencemaran disebut dengan bio-indikator. Dari ketiga organisme makrozoobentos yang diteliti yaitu *Digoniosstoma* sp., *Salinator* sp. dan *Syncera* sp. Makrozoobentos yang paling sensitif adalah *Salinator* sp. dan yang paling kuat adalah *Syncera* sp. Penelitian ini memilih *Syncera* sp. sebagai organisme bio-indikator pencemaran, karena *Syncera* sp. mempunyai konsentrasi maut yang tinggi dan lebih tahan dari *Digoniosstoma* sp. dan *Salinator* sp.

Walaupun demikian, pengusulan organisma bio-indikator dalam penelitian ini tetap berpandukan kepada pedoman yang dikemukakan oleh **BUTLER *et al.* (dalam PHILIPS, 1980)** seperti berikut :

1. Harus dapat mengakumulasi bahan cemar, tanpa dia sendiri mati terbunuh,
2. Harus terdapat dalam jumlah yang banyak di seluruh kawasan penelitian,
3. Terikat pada suatu tempat yang keras,

4. Hidup dalam waktu yang lama, bila diperlukan sampling dapat dilakukan lebih dari satu tahun,
5. Mempunyai ukuran memadai untuk ukuran analisis, dan
6. Mudah diambil dan tidak cepat rusak, kemudian ditambahkan oleh **HAUG et al. (dalam PHILIPS, 1980)**
7. Mempunyai toleransi terhadap air payau untuk memungkinkan penelitian di kawasan estuaria,
8. Harus ada korelasi antara kadar bahan cemaran dalam air dan dalam organisma