

BAB VI

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

6.1 Bahan-susun Beton

1. Semen.

Semen portland yang digunakan produksi PT Semen Gresik. Pemeriksaan semen dilakukan secara visual terhadap kemasan 40 kg, butirannya halus dan tidak ada penggumpalan.

2. Air.

Dari hasil pengamatan, air yang digunakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik berasal dari PDAM Sleman, sehingga dapat dipakai sebagai air campuran beton.

3. Agregat

Agregat yang digunakan untuk pembuatan benda uji dalam penelitian ini telah diteliti keausan, penyerapan air, dan berat jenis agregat dengan hasil seperti tercantum dalam tabel 6.1 berikut ini :

Tabel 6.1. Hasil pengujian agregat

Jenis Pengujian	Agregat Kasar Clereng	Agregat Kasar Serpentin	Agregat Halus		
			Pasir serpentin	Pasir besi	Pasir Progo
Keausan	13,64%	23,02%	-	-	-
Penyerapan	1,58%	7,84%	11,358%	1,626%	2,699%
BJ	2,64	2,177	2,138	4,241	2,84
BJ Semu	2,7545	2,626	2,823	4,555	3,082
Berat SSD	2,6816	2,348	2,380	4,310	2,923

Sumber : Data Laboratorium Jalan raya, FTSP, UII

a. Agregat halus

Pasir Progo berdasarkan berat jenisnya sebesar 2,84, termasuk ke dalam kategori agregat berat karena memiliki berat jenis yang lebih besar dari 2,8. Penyerapan pasir Progo 2,699 % berada diatas penyerapan agregat

normal sekitar 1-2 %. Pasir Serpentin berdasarkan berat jenisnya sebesar 2,138, termasuk ke dalam kategori antara di bawah agregat normal dan di atas agregat ringan. Penyerapan pasir Serpentin 11,358 % sangat besar dibandingkan penyerapan normal. Pasir Besi berdasarkan berat jenisnya sebesar 4,241, termasuk ke dalam kategori agregat berat dan penyerapannya termasuk penyerapan normal 1,626 %.

b. Agregat Kasar

Kerikil Clereng berdasarkan berat jenisnya sebesar 2,64, termasuk ke dalam kategori agregat normal, penyerapannya 1,58 % termasuk penyerapan normal. Kerikil Serpentin berdasarkan berat jenisnya sebesar 2,177, termasuk ke dalam kategori di bawah agregat normal dan di atas agregat ringan. Penyerapan Serpentin 7,84 % sangat besar dibandingkan dengan penyerapan normal sekitar 1-2 %. Pada pengujian ketahanan aus dengan mesin uji Los Angeles setelah 500 kali putaran diperoleh 13,64 % bagian yang hancur untuk kerikil Clereng dan 23,02 % bagian yang hancur untuk kerikil Serpentin.

6.2 Workabilitas Adukan

Sesuai dengan perbandingan bahan-susun beton pada tabel 4.2 dan tabel 4.3, maka untuk setiap komposisi dilakukan pencampuran adukan ke dalam mesin pencampur. Untuk setiap komposisi, pengukuran workabilitas adukan diuji dan dicatat yaitu nilai slump seperti yang tercantum di dalam tabel 6.2.

Tabel 6.2 Nilai Slump untuk Setiap Komposisi

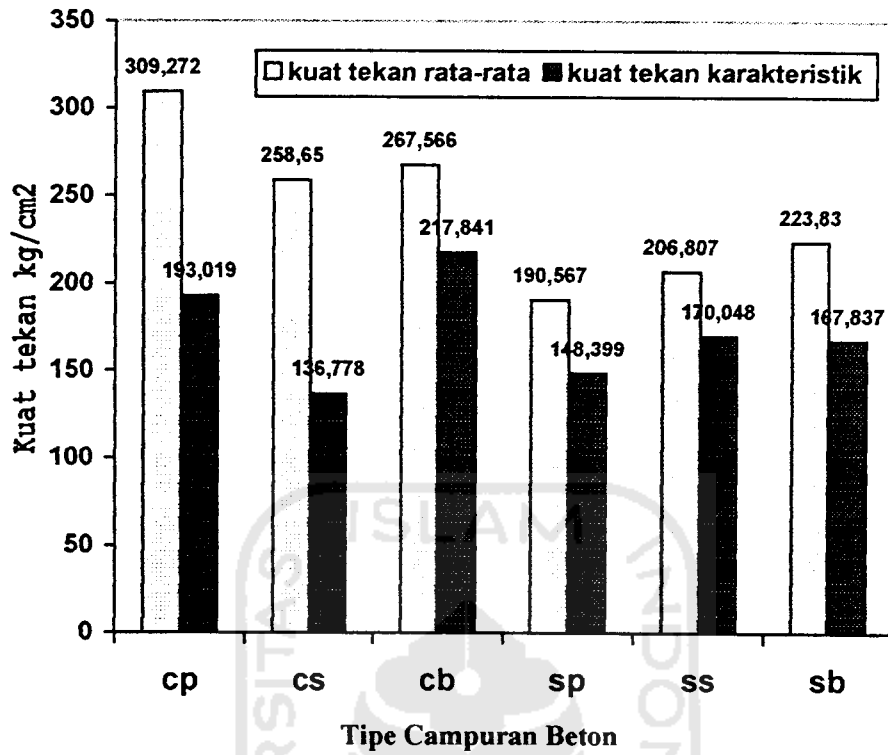
Kode Beton	Fas	Bahan Susun Beton dalam Perbandingan Berat				Slump (cm)
		Semen	Pasir	Kerikil	Air	
CP	0,55	1	1,858	3,906	0,55	8
CS	0,55	1	1,191	3,328	0,55	6
CB	0,55	1	1,541	4,704	0,55	9
SP	0,55	1	1,858	3,221	0,55	8
SS	0,55	1	1,191	2,744	0,55	5
SB	0,55	1	1,541	3,879	0,55	8

Secara keseluruhan nilai slump untuk semua komposisi memenuhi slump rencana seperti yang direkomendasikan dalam metode Road Note No.4 yaitu sebesar 5 - 10 cm. Nilai Slump yang berbeda-beda antara tipe beton yang satu dengan yang lainnya disebabkan karena serapan air yang tidak seragam antara agregat kasar dan agregat halus. Pengaruh sifat dan bentuk permukaan agregat, batu Serpentin yaitu halus dan cenderung mengkilap, dapat menurunkan daya lekatan adhesif dengan pasta semen namun untuk batu Clereng, permukaannya kasar dan tidak teratur dapat meningkatkan daya lekatan adhesif dengan pasta semen.

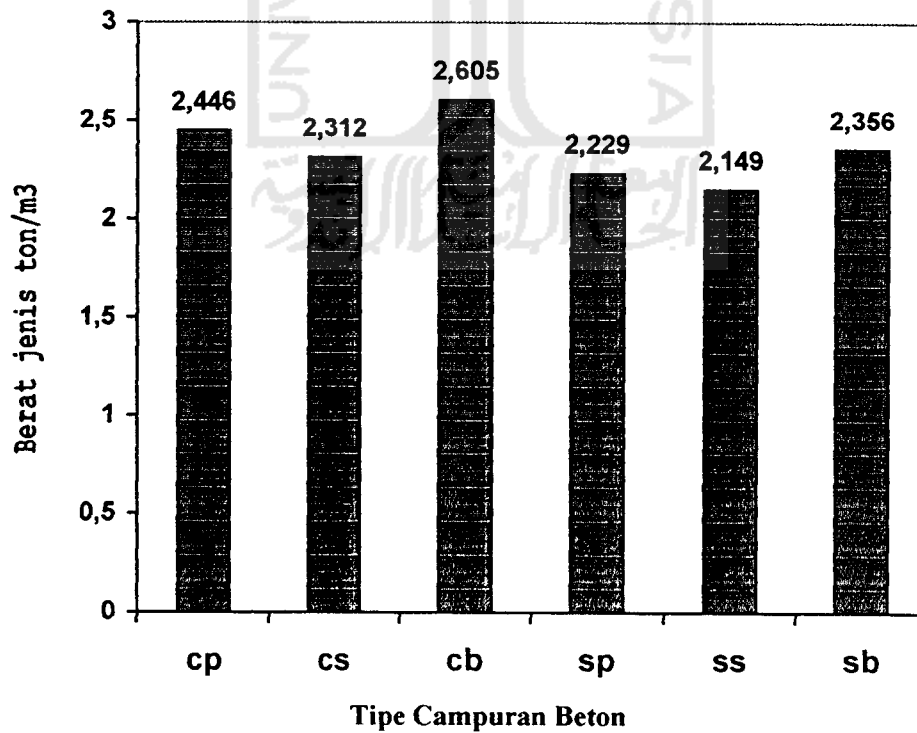
Penggunaan gradasi campuran rencana antara gradasi 2 dan gradasi 3 pada grafik gradasi (gambar 1 lampiran B) memberi pengaruh pada proses pengerjaan adukan dan pemadatan di lapangan yang optimum (tidak mudah dan tidak sulit).

6.3 Kuat Tekan Beton

Data hasil pengujian kuat tekan beton, berat jenis beton dan perhitungan kuat tekan karakteristik beton pada umur 28 hari selengkapya dapat dilihat pada lampiran D. Hasil pengujian kuat tekan dan berat jenis bervariasi. Untuk pembahasan selanjutnya hasil kuat tekan dan berat jenis ditampilkan dalam bentuk histogram pada gambar 6.1 dan 6.2 berikut ini.



Gambar 6.1 Hasil Uji Kuat Tekan Beton



Gambar 6.2 Berat Jenis Beton

Dari gambar 6.1 diperoleh bahwa kuat tekan rata-rata dan kuat tekan karakteristik beton yang terjadi sangat bervariasi. Beberapa penyebab terjadinya kuat tekan yang bervariasi antara lain sebagai berikut ini.

1. Bahan-susun beton yang berbeda,

Bahan-susun yang digunakan pada penelitian ini mempunyai bentuk dan tekstur yang berbeda-beda. Kuat tekan rata-rata beton dengan agregat kasar Clereng lebih tinggi dari kuat tekan rata-rata beton dengan agregat kasar Serpentin. Hal ini sesuai dengan kekerasan agregat yang ditunjukkan dengan nilai keausan agregat Clereng (13,64%) lebih kecil dengan nilai keausan agregat kasar Serpentin (23,02%). Permukaan agregat Clereng yang kasar dan bersudut memberi pengaruh lekatan antara agregat dengan pasta semen lebih baik dibanding dengan lekatan antara semen dengan agregat serpentin yang permukaannya halus dan licin. Agregat kasar dan agregat halus yang digunakan mempunyai variasi berat jenis, bentuk dan tekstur permukaan, sehingga kuat tekan yang dihasilkan juga bervariasi.

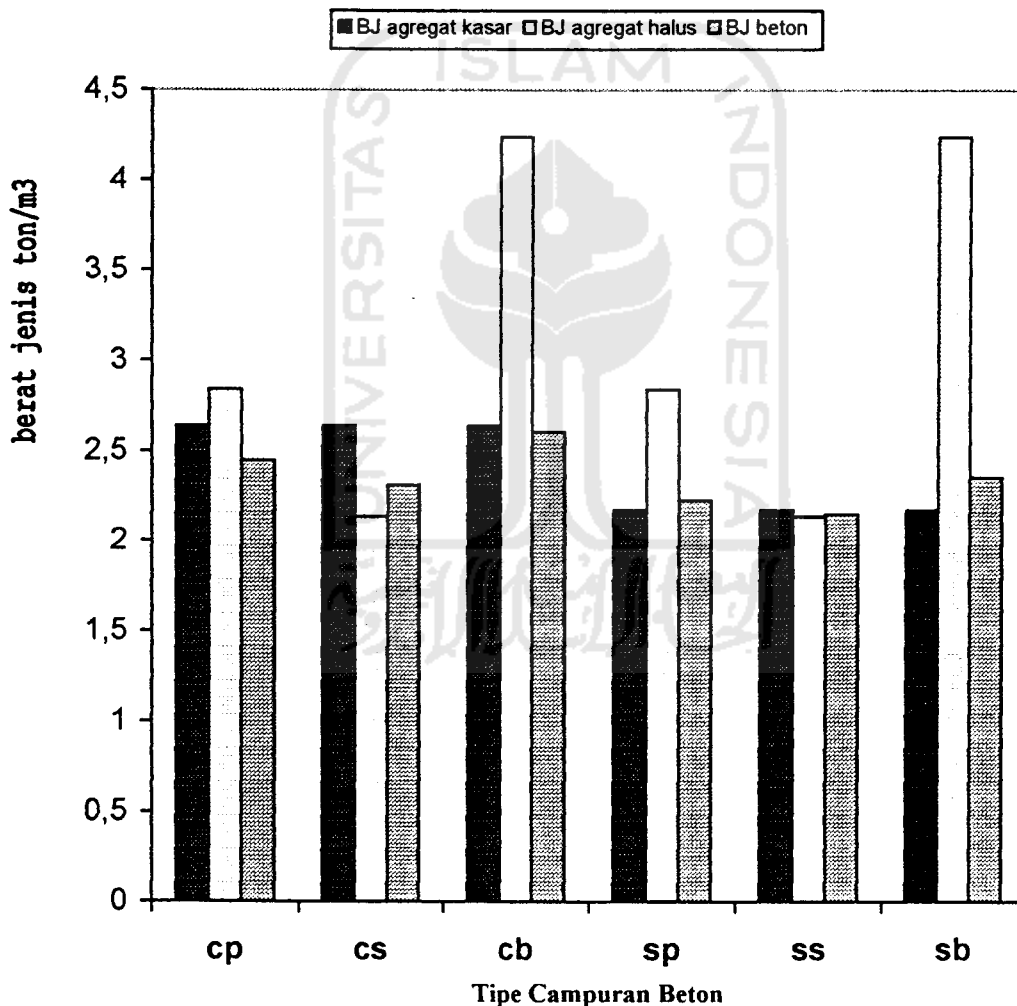
2. Variasi mutu bahan dari satu adukan ke adukan berikutnya,

Pemilihan bahan berdasarkan mutu pada penelitian ini dilakukan dengan pengamatan visual bahan, sehingga mutu bahan pilihan punya variasi yang bermacam-macam tidak tepat antara butiran yang satu dan lainnya. Ketika bahan-bahan tersebut diaduk, adukan yang terjadi akan bervariasi pula dan hasil kuat tekan masing-masing benda uji akan berbeda. Apabila perbedaan yang terjadi besar akan menyebabkan nilai kuat tekan karakteristik yang rendah

3. Keseragaman adukan dan kepadatan benda uji

Ketrampilan pengadukan dan pemadatan beton yang dimiliki oleh pekerja memegang peranan yang penting untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian. Pekerja yang berpengalaman akan mampu menghasilkan adukan yang homogen dan benda uji yang padat serta stabil.

Dari hasil perhitungan berat jenis beton terlihat pengaruh berat jenis agregat penyusunnya. Beton dengan variasi bahan-susun agregat kasar Clereng (BJ = 2,64 ton/m³) dan agregat halus Pasir Besi (BJ = 4,555 ton/m³) mempunyai berat jenis beton 2,605 ton/m³, sedangkan beton dengan variasi agregat halus dengan nilai berat jenis yang kecil (Agregat kasar Serpentin BJ = 2,177 ton/m³, Agregat halus Pasir Serpentin BJ = 2,138 ton/m³) mempunyai berat jenis beton yang kecil yaitu sebesar 2,149 ton/m³. Pengaruh tersebut ditampilkan dalam histogram dalam gambar 6.3.



Gambar 6.3. Pengaruh Berat jenis agregat terhadap berat jenis beton

Dari pengujian kuat tekan dan perhitungan berat jenis beton dalam penelitian ini tidak terdapat korelasi yang nyata antara nilai kuat tekan dan nilai berat jenis beton.

6.4 Radiasi Neutron terhadap Beton

Untuk mengetahui sifat nuklir beton yaitu kemampuan beton menahan radiasi neutron dilakukan pengujian dengan cara pencacahan intensitas radiasi neutron sebelum dan sesudah diberi perisai beton. Pada penelitian ini digunakan sumber neutron PuBe (Plutonium Berilium) sebagai sumber radiasi dan detektor BF₃ beserta peralatan cacah. Neutron yang dipancarkan PuBe merupakan neutron campuran. Untuk membedakan jenis neutron yaitu neutron thermal dan cepat digunakan selongsong Cadmium yang dipasang pada detektor. Neutron yang dideteksi dari detektor tanpa Cadmium adalah neutron campuran sedangkan neutron yang dideteksi dari detektor dengan Cadmium adalah neutron cepat. Untuk cacah neutron thermal diperoleh dengan mengurangi cacah neutron campuran dengan neutron cepat.

Hasil pencacahan neutron untuk setiap komposisi beton selengkapnya dapat dilihat pada lampiran E. Untuk kepentingan analisa data lebih lanjut, data-data hasil pencacahan neutron tersebut dirata-rata. Hasil cacah rata-rata tiap jenis neutron masing-masing tipe beton dapat dilihat pada tabel 6.3 - 6.5.

Tabel 6.3 Cacah Intensitas Radiasi Neutron Campuran terhadap Komposisi Beton

Tebal Benda Uji (cm)	Nilai cacah neutron (cacah/menit) Komposisi Beton					
	CP	CS	CB	SP	SS	SB
0	4386	4690	4580	4457	4754	4459
6x1	2559	2760	3097	2674	2725	2635
6x2	1841	2315	1786	2346	2408	2245
6x3	1554	1751	1631	1966	1931	1823
6x4	1387	1530	1400	1608	1551	1550
6x5	1230	1317	1232	1370	1367	1401
6x6	1117	1193	1116	1207	1222	1272



Tabel 6.4 Cacah Intensitas Radiasi Neutron Cepat terhadap Komposisi Beton

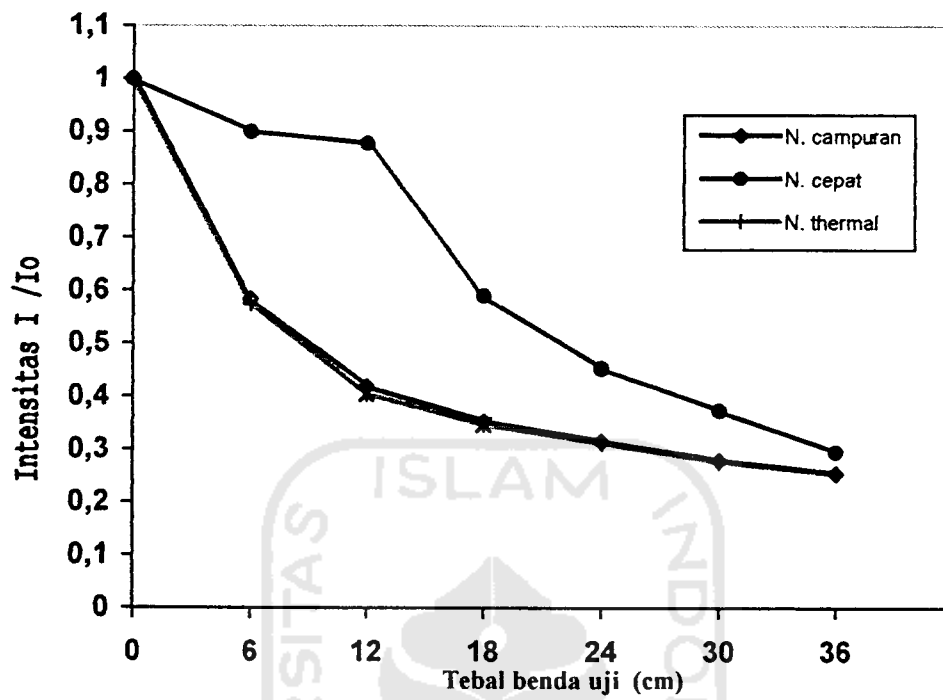
Tebal Benda Uji (cm)	Nilai cacah neutron (cacah/menit)					
	Komposisi Beton					
	CP	CS	CB	SP	SS	SB
0	139	174	277	150	149	159
6x1	125	147	240	131	142	142
6x2	122	141	170	114	105	105
6x3	82	89	139	80	71	71
6x4	63	80	113	56	56	60
6x5	52	64	106	50	45	42
6x6	41	59	80	38	34	36

Tabel 6.5 Cacah Intensitas Radiasi Neutron Thermal terhadap Komposisi Beton

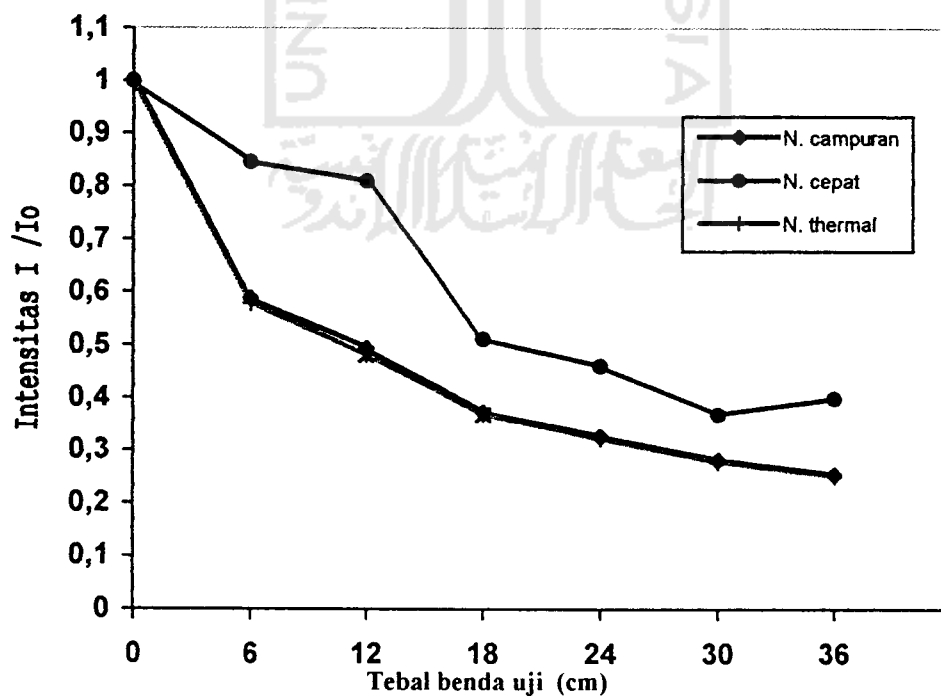
Tebal Benda Uji (cm)	Nilai cacah neutron (cacah/menit)					
	Komposisi Beton					
	CP	CS	CB	SP	SS	SB
0	4247	4517	4303	4308	4606	4300
6x1	2433	2613	2857	2543	2583	2490
6x2	1719	2174	1616	2232	2304	2314
6x3	1472	1661	1492	1886	1860	1748
6x4	1324	1451	1287	1552	1496	1490
6x5	1178	1253	1126	1320	1322	1358
6x6	1077	1135	1037	1169	1188	1235

Dengan intensitas neutron dari pancaran sumber neutron awal (I_0) selama pengujian dianggap tetap, maka dibuat diagram I/I_0 terhadap ketebalan benda uji dengan maksud untuk membandingkan tipikal kemampuan memerisai radiasi dari setiap komposisi beton terhadap radiasi neutron campuran, cepat dan thermal, yang hasilnya ditampilkan dalam grafik pada gambar 6.4 – 6.9.

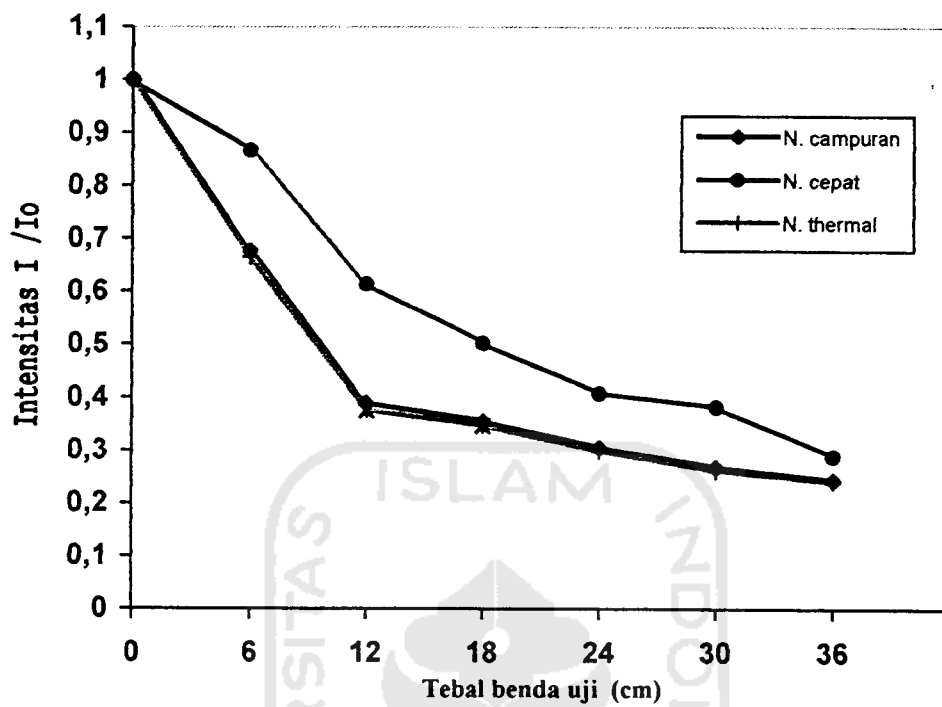
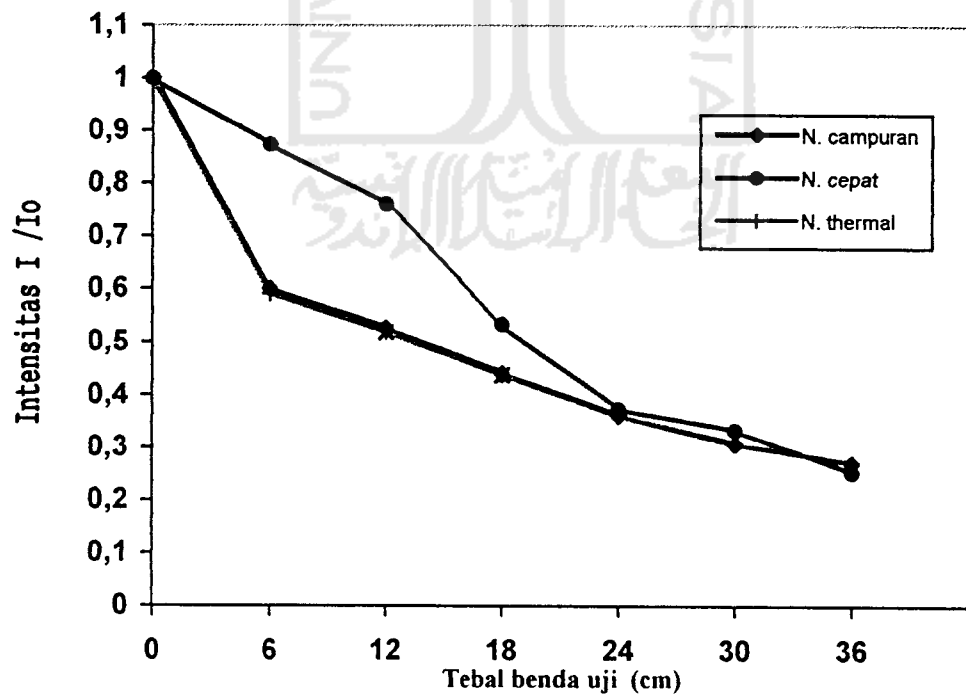
Untuk melihat interaksi neutron terhadap beton dilakukan perhitungan nilai tampang lintang makroskopik (Σ_t) dari masing-masing tipe beton terhadap neutron campuran, neutron thermal dan neutron cepat dengan menggunakan operasi regresi linier program SPSS (*Statistical Program for Social Science*). Data dan hasil eksekusi program terdapat pada lampiran F 1 – F 36 dengan nilai Σ_t masing-masing tipe beton ditulis dalam tabel 6.6 – 6.8 dan gambar 6.10.

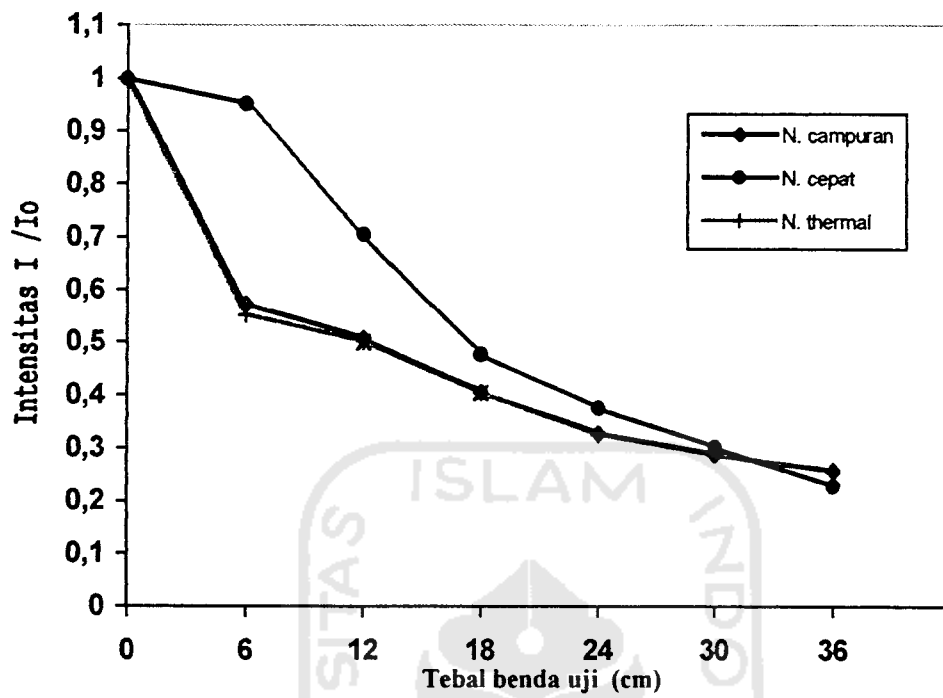
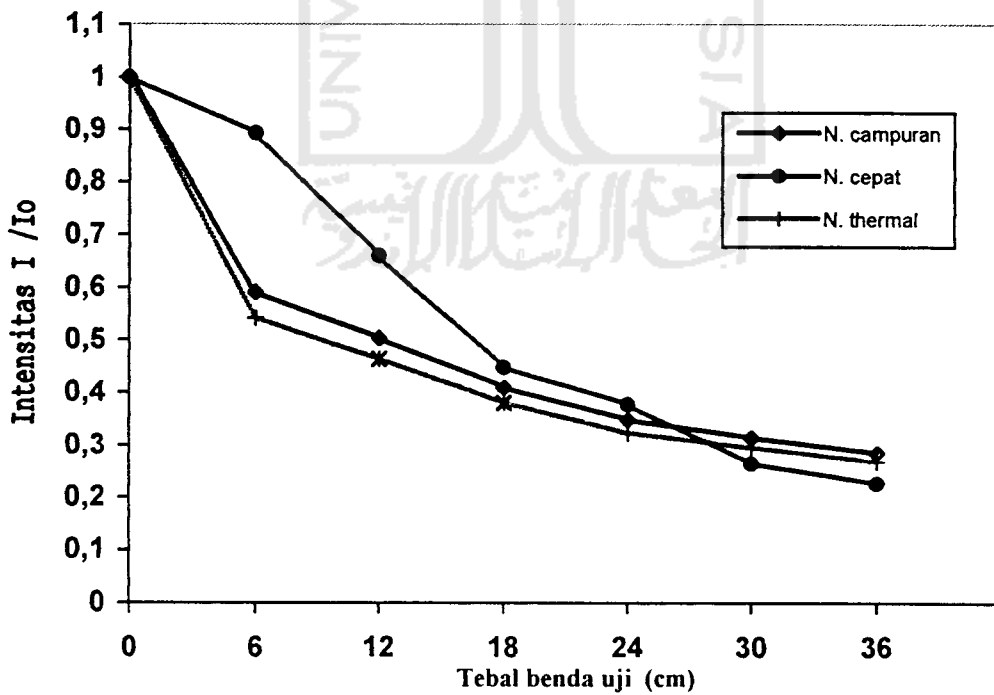


Gambar 6.4 Diagram I / Io Beton tipe CP



Gambar 6.5 Diagram I / Io Beton Tipe CS

Gambar 6.6. Diagram I/I_o Beton Tipe CBGambar 6.7. Diagram I/I_o Beton Tipe SP

Gambar 6.8. Diagram I/I_o Beton Tipe SSGambar 6.9. Diagram I/I_o Beton Tipe SB

Tabel 6.6. Nilai Tampang Lintang Makroskopik terhadap Neutron Campuran

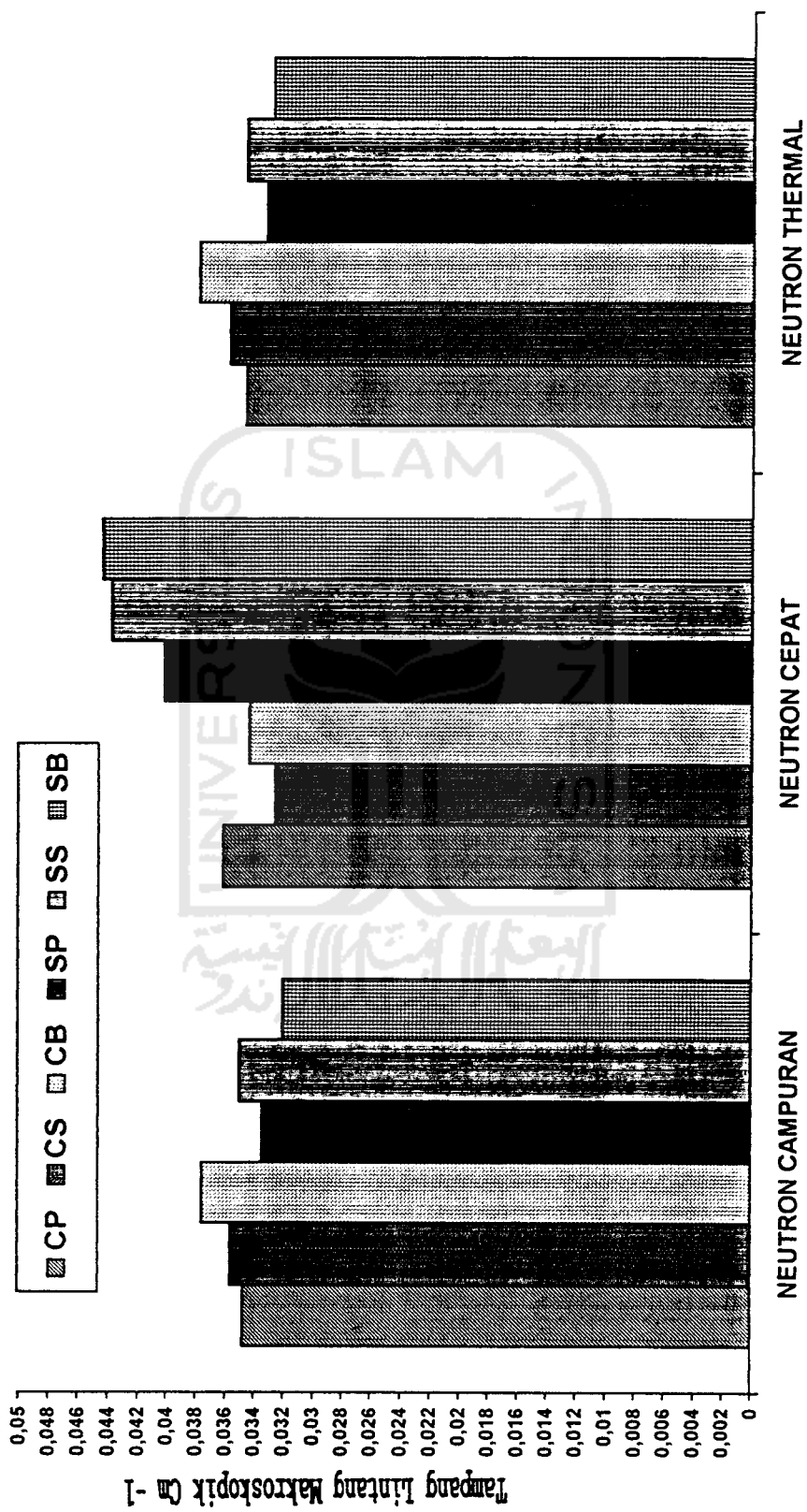
TIPE BETON	PERSAMAAN REGRESI	NILAI Σ	R^2
CP	$Y = 8,122 - 0,0348X$	0,0348	0,887
CS	$Y = 8,242 - 0,0357X$	0,0357	0,930
CB	$Y = 8,210 - 0,0376X$	0,0376	0,891
SP	$Y = 8,223 - 0,0335X$	0,0335	0,948
SS	$Y = 8,261 - 0,0351X$	0,0351	0,935
SB	$Y = 8,185 - 0,0321X$	0,0321	0,915

Tabel 6.7. Nilai Tampang Lintang Makroskopik Beton terhadap Neutron Cepat

TIPE BETON	PERSAMAAN REGRESI	NILAI Σ	R^2
CP	$Y = 5,048 - 0,0362X$	0,0362	0,962
CS	$Y = 5,187 - 0,0326X$	0,0326	0,961
CB	$Y = 5,611 - 0,0344X$	0,0344	0,980
SP	$Y = 5,092 - 0,0402X$	0,0402	0,979
SS	$Y = 5,108 - 0,0438X$	0,0438	0,983
SB	$Y = 5,135 - 0,0444X$	0,0444	0,987

Tabel 6.8. Nilai Tampang Lintang Makroskopik Beton terhadap Neutron Thermal

TIPE BETON	PERSAMAAN REGRESI	NILAI Σ	R^2
CP	$Y = 8,073 - 0,0347X$	0,0347	0,871
CS	$Y = 8,192 - 0,0358X$	0,0358	0,924
CB	$Y = 8,132 - 0,0379X$	0,0379	0,880
SP	$Y = 8,178 - 0,0333X$	0,0333	0,942
SS	$Y = 8,217 - 0,0347X$	0,0347	0,927
SB	$Y = 8,166 - 0,0328X$	0,0328	0,884



Gambar 6.10 Nilai Tampang Lintang Makroskopik Neutron Campuran, Cepat dan Thermal

Dari tabel 6.3 – 6.5 dan gambar 6.4 – 6.9 dapat dilihat bahwa jenis neutron dominan yang dihasilkan sumber radiasi PuBe adalah neutron thermal ($\pm 96 \%$). Hal ini ditunjukkan dengan nilai cacah neutron pada neutron campuran dan neutron thermal yang hampir sama pada tabel 6.3 dan tabel 6.5, atau ditunjukkan dengan kurva I/I_0 neutron campuran dan neutron thermal yang hampir berhimpit pada gambar 6.4 – 6.9. Hal ini juga memperlihatkan kemampuan Cadmium dengan ketebalan 1 mm dalam menyerap neutron thermal yang dihasilkan sumber. Dalam penelitian ini hasil cacah neutron tanpa perisai radiasi dengan menggunakan detektor BF_3 yang diletakkan sejauh 50 cm dari sumber, diperoleh hasil deteksi detektor tanpa selongsong Cadmium neutron campuran rata-rata sebanyak = 4554,333 cacah/menit (neutron campuran), dengan selongsong Cadmium tercacah neutron cepat rata-rata sebanyak = 174,667 cacah/menit. Atau dengan kata lain Cadmium dapat menyerap neutron thermal sebanyak = 4379,666 cacah/menit.

Dari gambar 6.4 – 6.9, nilai I/I_0 neutron thermal dan neutron cepat pada tiap ketebalan berlainan antara tipe beton yang satu dan lainnya. Dari kurva-kurva dalam gambar tersebut dapat dikelompokkan dalam dua kelompok. Kelompok I adalah beton dengan nilai I/I_0 neutron cepat pada ketebalan lebih besar dari I/I_0 neutron thermal, yaitu beton tipe CP, CS, dan CB. Kelompok II adalah beton dengan nilai I/I_0 neutron cepat ketebalan 36 cm lebih kecil dari I/I_0 neutron thermal, yaitu beton tipe SP, SS dan SB. Beton kelompok I yaitu beton tipe CP, CS, dan CB dari gambar 6.4 – 6.6 terlihat kurva attenuasi I_0 neutron campuran dan thermal terletak lebih rendah daripada kurva attenuasi neutron cepat, yang berarti pada ketebalan yang sama serapan neutron campuran dan thermal lebih banyak dibandingkan neutron cepat. Sedangkan pada beton kelompok II yaitu beton tipe SP, SS, dan SB dari kurva 6.7 – 6.9 terlihat semakin tebal beton, attenuasi neutron cepat terletak lebih rendah dibandingkan neutron campuran dan thermal, yang berarti serapan neutron cepat lebih banyak daripada neutron campuran dan thermal. Dari fenomena ini terlihat bahwa beton dengan agregat kasar yang sama mempunyai tipikal sama.

Dari gambar 6.4 – 6.9 dapat dilihat bahwa pada semua jenis neutron dan ketebalan beton mempunyai pengaruh yang nyata terhadap intensitas cacah neutron. Hal ini terlihat dari nilai I/I_0 yang semakin kecil seiring dengan penambahan tebal beton. Analisa pengaruh ketebalan benda uji dan jenis neutron terhadap intensitas cacah neutron menggunakan operasi program SPSS metode Simple Faktorial Anova dengan signifikansi sebesar 0,05 diperoleh nilai kurang dari 0,05 yang berarti penambahan ketebalan benda uji dan jenis neutron memberi pengaruh yang nyata pada intensitas neutron (lampiran G1 - G6).

Dari tabel 6.6 – 6.8 nilai tampang lintang makroskopik beton terhadap 3 jenis neutron diperoleh dari operasi program SPSS metode Regresi Linier dengan nilai R^2 terendah = 0,871 dan tertinggi = 0,987. Dengan nilai R^2 diatas 0,8 berarti nilai estimasi persamaan terhadap hasil penelitian diatas 80 %. Nilai Σ_t neutron campuran tertinggi pada beton tipe CB ($0,0376 \text{ cm}^{-1}$), untuk neutron cepat nilai Σ_t tertinggi pada beton tipe SB ($0,0444 \text{ cm}^{-1}$), dan neutron thermal nilai Σ_t tertinggi pada beton tipe CB ($0,0379 \text{ cm}^{-1}$).

Dari hasil tampang lintang makroskopik tersebut terlihat bahwa beton dengan agregat halus Pasir Besi mempunyai sifat nuklir (interaksi) yang baik terhadap neutron. Hal ini dipengaruhi oleh kandungan utama Pasir Besi yaitu unsur Fe dengan kandungan sebesar 49,75 %. Unsur Fe mempunyai sifat menyerap dengan baik radiasi thermal dan relatif baik untuk melambatkan neutron cepat dengan proses hamburan tak lenting. Sifat nuklir beton semakin baik ketika agregat penyusun beton terdiri dari agregat kasar Serpentin dan agregat halus Pasir Besi. Beton dengan tipe SB berinteraksi sangat baik terhadap neutron cepat. Jenis neutron cepat merupakan jenis neutron yang menjadi standar perisai radiasi. Beton yang mampu berinteraksi baik dengan neutron cepat akan berinteraksi baik dengan jenis radiasi yang lain. Pada tipe SB, agregat kasar Serpentin dengan penyerapan air sebesar 7,84 % menjadi material yang mampu meningkatkan kadar air terikat beton. Dengan kadar air terikat yang besar, beton menjadi moderator yang baik bagi neutron. Neutron cepat akan berubah menjadi neutron lambat (thermal) sehingga ketika dideteksi dengan detektor BF_3 berselongsong Cadmium nilai cacah neutronnya menjadi kecil.

6.5 Komparasi Hasil-hasil Penelitian

Pada penelitian pendahulu seperti yang telah dijelaskan pada subbab 2.9 berbeda dengan penelitian yang dilakukan kali ini. Perbedaan standar dan hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada tabel 6.9 –6.10.

Tabel 6.9 Perbedaan Standar Penelitian

Penelitian Pendahulu	Penelitian Sekarang
Intensitas awal yang terjadi tidak dianggap sama karena fluks neutron yang muncul berbeda-beda	Intensitas awal neutron dianggap sama
Beton dirancang dengan menggunakan mutu standart perencanaan K-300	Beton dirancang dengan menggunakan mutu beton karakteristik K-250
Perencanaan campuran beton menggunakan metode DREUX	Perencanaan campuran beton menggunakan metode Road Note No.4
Perhitungan tampang lintang makroskopik menggunakan penurunan rumus-rumus	Perhitungan tampang lintang makroskopik menggunakan metode Regresi Linier

Perbedaan penggunaan metode perencanaan campuran beton pada penelitian pendahulu yaitu metode DREUX dengan perbandingan volume sebagai perbandingan campuran betonnya dengan maksud agar beton memperoleh kepadatan yang lebih tinggi. Penggunaan metode Road Note No.4 pada penelitian ini menggunakan berat sebagai perbandingan campuran betonnya juga dengan maksud agar kepadatan beton yang diperoleh lebih tinggi.

Tabel 6.10 Perbedaan Hasil Penelitian Kuat Tekan Beton

Komposisi Beton (agregat kasar + agregat halus)	Penelitian Terdahulu			Penelitian Sekarang		
	Kuat tekan Kg/cm ²	Berat Jenis ton/m ³	Tampang Lintang cm-l	Kuat tekan Kg/cm ²	Berat Jenis ton/m ³	Tampang Lintang cm-l
Serpentin + Serpentin	92,3717	2,209	0,07526±0,0029 0,07063±0,0029 0,06985±0,0026	206,807	2,149	0,0351 0,0438 0,0347
Serpentin + Progo	163,3731	2,438	0,07557±0,0029 0,07268±0,0030 0,07565±0,0030	190,567	2,229	0,0335 0,0402 0,0333

Perbedaan hasil kuat tekan beton yang diperoleh penelitian pendahulu adalah karena batuan Serpentin yang digunakan adalah batuan Serpentin yang lapuk atau batuan Serpentin yang berwarna Hijau kekuning-kuningan. Pada saat pengujian kuat tekan beton, agregat Serpentin pecah terlebih dahulu dibandingkan pasta semennya. Perbedaan hasil berat jenis dipengaruhi oleh berat jenis agregat penyusun beton yang berbeda dengan penelitian terdahulu sehingga berat jenis beton juga berbeda. Penggunaan metode perhitungan tampang lintang makroskopik yang berbeda antara penelitian sekarang dengan penelitian terdahulu menyebabkan nilai tampang lintang makroskopik yang terjadi tidak dapat dibandingkan satu sama lain.