

Tata cara analisis data pengujian surutan bertahap pada sumur uji atau sumur produksi dengan metode Eden-Hazel

1. Ruang lingkup

Tata cara ini menetapkan karakteristik kinerja sumur uji atau sumur produksi yang menembus akuifer terkekang dalam rangka penentuan debit aman sumur tersebut melalui analisis data uji pemompaan surutan bertahap (*step drawdown test*) dengan menggunakan metode Eden-Hazel cara uji I dan cara uji II.

2. Acuan

- SNI 03-3970-1995, Metode pengukuran tinggi muka air tanah bebas di sumur
- Pd M-21-1998-03, Metode pengujian untuk penentuan kapasitas jenis dan penaksiran transmisivitas pada sumur uji
- Pd M-22-1998-03, Metode pengujian untuk penentuan transmisivitas akuifer tertekan dengan cara pemulihan Theis
- Pd M-23-1998-03, Metode pengujian untuk penentuan transmisivitas akuifer tertekan dengan cara uji kolom air
- Pd M-24-1998-03, Metode pengujian kolom air di lapangan untuk penentuan sifat-sifat hidraulik akuifer
- Pd M-25-1998-03, Metode pengujian sifat hidraulik akuifer dengan cara Theis
- Pd T-02-1998-03, Tata cara pemilihan metode uji sifat hidraulik akuifer dengan teknik sumur
- SNI 03-xxxx-2001, Tata cara analisis data pengujian surutan bertahap pada sumur uji atau sumur produksi dengan metode Hantush - Bierschenk

3. Istilah dan definisi

Istilah dan definisi berikut berlaku untuk pemakaian tata cara ini.

3.1

uji surutan bertahap

uji pemompaan yang dilakukan terhadap sumur uji atau sumur produksi dengan melakukan pemompaan air dengan debit tetap dalam periode tertentu dan dilanjutkan dengan debit tetap yang lebih tinggi dalam periode tertentu berikutnya dan begitu seterusnya

3.2

cara uji I

cara uji yang menggunakan kehilangan tinggi tekan sumur non linear CQ^2

3.3

cara uji II

Cara uji yang menggunakan kehilangan tinggi tekan sumur nonlinear CQ^p dalam menentukan besar surutan

3.4

kehilangan tinggi tekan akuifer

Kehilangan tinggi tekan yang diakibatkan oleh hambatan dari akuifer terhadap aliran ke sumur

3.5

kehilangan tinggi tekan sumur linear

Kehilangan tinggi tekan yang diakibatkan oleh hambatan terhadap aliran masuk ke sumur akibat lumpur sisa yang berada di zone penetrasi dan di dalam selubung kerikil serta di sekitar bukaan pipa penyaring

3.6

kehilangan tinggi tekan sumur nonlinear

kehilangan tinggi tekan yang diakibatkan oleh turbulensi dan gesekan dalam pipa sumur

3.7

kehilangan tinggi tekan sumur total

kehilangan tinggi tekan akuifer (surutan teoritis) ditambah kehilangan tinggi tekan sumur linear dan non linear, yang menghasilkan surutan total

4. Persyaratan

4.1 Penggunaan cara uji

Cara uji dengan metode analisis Eden-Hazel bisa diterapkan dengan pengambilan anggapan dan persyaratan berikut :

- a) akuifer dalam kondisi terkekang (*confined aquifer*);
- b) akuifer terbentang meluas tak berhingga;
- c) akuifer homogen, isotropik dengan ketebalan seragam seluas daerah yang dipengaruhi oleh uji pemompaan;
- d) sebelum pemompaan muka air dalam kedudukan mendatar seluas daerah yang dipengaruhi oleh uji pemompaan;
- e) akuifer dipompa secara bertahap dengan debit yang bertambah;
- f) aliran di dalam sumur dalam kondisi tak langgeng (*unsteady state*);
- g) sumur menembus keseluruhan tebal akuifer dan oleh karenanya perolehan air berasal dari aliran mendatar;
- h) fungsi sumur u atau $(r^2S/4kDt) < 0,01$;
- i) kehilangan tinggi tekan non linear di dalam sumur cukup berarti dan bervariasi menurut pernyataan CQ^2 (untuk cara uji I);
- j) kehilangan tinggi tekan non linear di dalam sumur cukup berarti dan bervariasi menurut pernyataan CQ^p (untuk cara uji II).

4.2 Peralatan

Kertas yang digunakan untuk cara uji berskala linear dan log-log.

5. Prinsip metode analisis Eden-Hazel

Beberapa metode analisis untuk tujuan yang sama dapat dipilih metode Hantush-Bierschenk, Eden-Hazel, Rorabaugh dan Sheahan. Dalam hal ini dipilih prosedur analisis metode Eden-Hazel (cara uji II).

Jacob (1947) menggunakan rumus berikut untuk penerapan uji surutan bertahap :

$$s_w = (a + b \log t) Q \dots\dots\dots (01)$$

dengan :

$$a = \frac{2,30 Q}{4 \pi kD} \log \frac{2,25 kD}{r_{ew}^2 S} \dots\dots\dots (02)$$

$$b = \frac{2,30 Q}{4 \pi kD} \dots\dots\dots (03)$$

- S adalah koefisien simpanan
- r_{ew} adalah jari-jari bagian dalam dari sumur
- k adalah kelulusan hidraulik akuifer
- D adalah ketebalan akuifer

Dengan memakai persamaan matematik (01) dan prinsip superposisi tanpa memperhatikan kehilangan tinggi tekan sumur non linear, bisa diturunkan surutan pada waktu t selama tahap ke n dengan menggunakan :

$$s_{w(n)} = \sum_{i=1}^n \Delta Q_i \{a + b \log (t - t_i)\} \dots\dots\dots (04)$$

atau

$$s_{w(n)} = a Q_n + b \sum_{i=1}^n \Delta Q_i \log (t - t_i) \dots\dots\dots (05)$$

dengan :

- $s_{w(n)}$ adalah surutan tahap ke n;
- Q_n adalah debit konstan selama tahap ke n;
- Q_i adalah debit konstan selama tahap ke I mendahului tahap ke n;
- $\Delta Q_i = Q_i - Q_{i-1}$ adalah pertambahan debit mulai pada saat t_i ;
- t_i adalah waktu pada saat tahap ke I dimulai;
- t adalah waktu sejak pemompaan surutan bertahap dimulai.

Dengan memasukkan pengaruh kehilangan tinggi tekan sumur yang nonlinear, persamaan menjadi :

$$s_{w(n)} = a Q_n + b H_n + C Q_n^2 \dots\dots\dots (06)$$

dengan :

$$H_n = \sum_{i=1}^n \Delta Q_i \log (t - t_i) \dots\dots\dots (07)$$

6. Cara uji

Cara uji dilakukan menurut urutan langkah berikut ini :

6.1 Cara uji I

Cara uji I dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

- hitung nilai H_n dari persamaan (07) dengan menggunakan hasil-hasil pengukuran debit dan waktu untuk tahap (*step*) ke 1 sampai ke n ;
- plot data surutan hasil pengamatan $s_{w(n)}$ pada kertas skala linear terhadap H_n terkait;
- tarik garis lurus sejajar yang paling cocok melalui titik-titik plot, satu garis lurus untuk setiap satu rangkaian titik-titik yang menyatakan tiap tahap;
- tentukan kemiringan garis $\Delta s_{w(n)}/\Delta H_n$, yang merupakan nilai b ;
- perpanjang garis-garis lurus tersebut sampai memotong sumbu $H_n = 0$;
- titik potong A_n untuk setiap garis diberikan menurut hubungan berikut :
$$A_n = a Q_n + C Q_n^2 \text{ atau } A_n/Q_n = a + C Q_n \dots\dots\dots (08)$$
- baca nilai-nilai A_n
- hitung rasio A_n/Q_n untuk tiap tahap (yakni untuk setiap angka Q_n)
- pada kertas linear, plot nilai A_n/Q_n terhadap nilai-nilai Q_n terkait
- buat garis lurus melalui titik-titik plot tersebut
- tentukan kemiringan $\Delta(A_n/Q_n)/\Delta Q_n$, yang merupakan nilai C ;
- perpanjang garis lurus sampai memotong sumbu A_n/Q_n di mana $Q_n = 0$; nilai dari titik potong sama dengan a ;
- dengan mengetahui nilai b , hitung kD dari persamaan $b = (2,30/4 \pi kD)$
- jika sudah diperoleh a , b dan C , masukkan ke dalam persamaan berikut :

$$s_w = a + (b \log t) Q + c Q^2 \dots\dots\dots (09)$$

6.2 Cara uji II

Cara uji II dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

- hitung nilai H_n dari persamaan (07) dengan menggunakan hasil-hasil pengukuran debit dan waktu untuk tahap (*step*) ke 1 sampai ke n .
- plot data surutan hasil pengamatan $s_{w(n)}$ pada kertas skala linear terhadap H_n terkait;
- tarik garis lurus sejajar yang paling cocok melalui titik-titik plot, satu garis lurus untuk setiap satu rangkaian titik-titik yang menyatakan untuk tiap tahap;
- tentukan kemiringan garis $\Delta s_{w(n)}/\Delta H_n$, yang merupakan nilai b ;
- perpanjang garis-garis lurus tersebut sampai memotong sumbu $H_n = 0$;
- titik potong A_n untuk setiap garis diberikan menurut hubungan berikut :
$$A_n = a Q_n + C Q_n^2 \text{ atau } A_n/Q_n = a + C Q_n$$
- baca nilai-nilai A_n ;
- hitung rasio A_n/Q_n untuk tiap tahap (yakni untuk setiap angka Q_n);
- pada kertas linear, plot nilai A_n/Q_n terhadap nilai-nilai Q_n terkait;
- buat garis lurus melalui titik-titik plot tersebut;
- plot nilai-nilai $((A_n/Q_n) - a)$ terhadap Q_n yang terkait pada kertas log-log (boleh juga pada kertas linear namun yang diplot adalah nilai $\log [(A_n/Q_n) - a]$ terhadap $\log Q_n$;
- buat garis lurus melalui titik-titik plot dan tentukan kemiringan $\Delta((A_n/Q_n) - a)/\Delta Q_n$;
- hitung p , karena kemiringan garis tersebut sama dengan $p - 1$;

- n) tentukan C dengan memperpanjang garis lurus tersebut yang menghasilkan titik potong dengan $Q_n = 0$ yang merupakan ordinat titik tersebut;
- o) dengan mengetahui b, hitung kD dari persamaan $b = (2,30/4 \pi kD)$.

Metode Eden-Hazel cara uji II dengan CQ^p digunakan bila sumur mempunyai debit yang tinggi (yakni dalam uji untuk menentukan debit serah tertinggi dari sumur). Dalam persamaan (06) dan (08) CQ^2 harus diganti dengan CQ^p , sehingga dengan mengatur kembali persamaan (06) dapat dirubah menjadi :

$$s_w = a + (b \log t) Q + c Q^p$$

$$A_n = a Q_n + C Q_n^p \text{ atau } A_n/Q_n = a + C Q_n^{p-1}$$

$$\log ((A_n/Q_n) - a) = \log C + (p-1) \log Q_n \dots\dots\dots (10)$$

Persamaan (10) ini digunakan dalam cara uji II untuk memperoleh s_w .

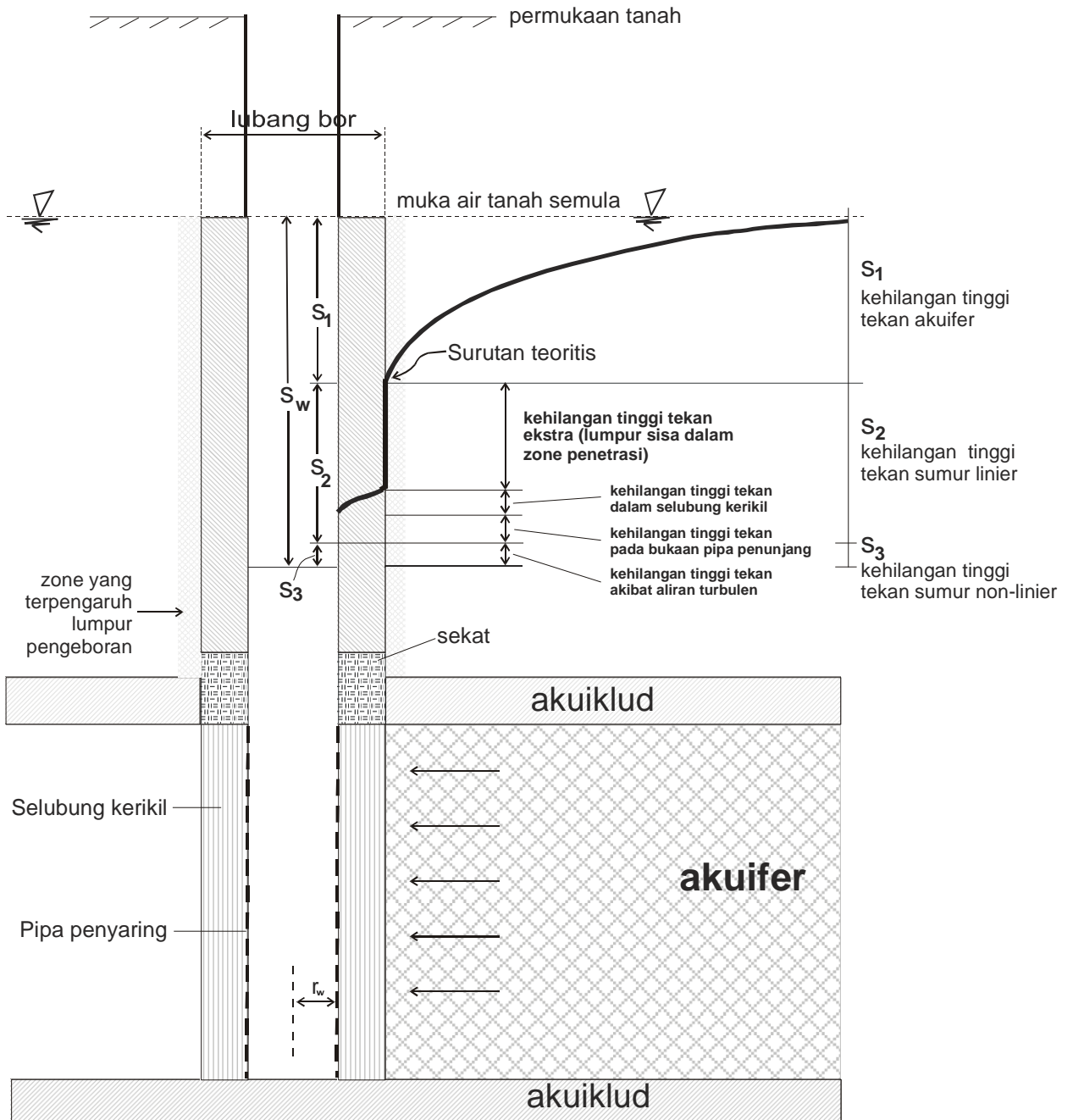
7. Contoh

Lihat data dalam Lampiran B, yaitu Tabel B, Lampiran C yaitu Tabel C.1, Gambar C, dan Tabel C.2, Lampiran D yaitu Gambar D dan Tabel D, Lampiran E yaitu Tabel E.1 dan Gambar E serta Tabel E.2

8. Bibliografi

Kruseman, G.P. and de Ridder, N.A. (1990) Analysis and evaluation of pumping test data. Publication 47, ILRI, Wageningen, the Netherlands

Lampiran - A



Gambar A. Contoh sumur bor

Lampiran – B

Tabel B. Surutan sumur (dalam m)
(angka tercetak miring dan tebal)

Data uji surutan bertahap

Waktu t (menit)	Tahap 1 Q = 1306 (m ³ /hari)	Waktu t (menit)	Tahap 2 Q = 1693 (m ³ /hari)	Waktu t (menit)	Tahap 3 Q = 2423 (m ³ /hari)	Waktu t (menit)	Tahap 4 Q = 3261 (m ³ /hari)	Waktu t (menit)	Tahap 5 Q = 4094 (m ³ /hari)	Waktu t (menit)	Tahap 6 Q = 5019 (m ³ /hari)
1	-	181	5,458	361	8,17	541	10,881	721	15,318	901	20,036
2	-	182	5,529	362	8,24	542	11,797	722	15,494	902	20,248
3	-	183	5,564	363	8,346	543	11,902	723	15,598	903	20,389
4	-	184	5,599	364	8,451	544	12,008	724	15,74	904	20,529
5	1,303	185	5,634	365	8,486	545	12,078	725	15,846	905	20,6
6	2,289	186	5,669	366	8,557	546	12,149	726	15,881	906	20,66
7	3,117	187	5,669	367	8,557	547	12,149	727	15,952	907	20,741
8	3,345	188	5,705	368	8,592	548	12,184	728	16,022	908	20,811
9	3,486	189	5,74	369	8,672	549	12,219	729	16,022	909	20,882
10	3,521	190	5,74	370	8,672	550	12,325	730	16,093	910	20,917
12	3,592	192	5,81	372	8,663	552	12,36	732	16,198	912	20,952
14	3,627	194	5,81	374	8,698	554	12,395	734	16,268	914	21,022
16	3,733	196	5,824	376	8,733	556	12,43	736	16,304	916	21,128
18	3,768	198	5,845	378	8,839	558	12,43	738	16,374	918	21,163
20	3,836	200	5,81	380	8,874	560	12,501	740	16,409	920	21,198
25	3,873	205	5,824	385	8,874	565	12,508	745	16,586	925	21,304
30	4,014	210	5,824	390	8,979	570	12,606	750	16,621	930	21,375
35	3,803	215	5,881	395	8,979	575	12,712	755	16,691	935	21,48
40	4,043	220	5,591	400	8,994	580	12,747	760	16,726	940	21,551
45	4,261	225	5,591	405	9,05	585	12,783	765	16,776	945	21,619
50	4,261	230	6,092	410	9,05	590	12,818	770	16,797	950	21,656
55	4,19	235	6,092	415	9,12	595	12,853	775	16,902	955	-
60	4,12	240	6,176	420	9,12	600	12,853	780	16,938	960	21,663
70	4,12	250	6,162	430	9,155	610	12,888	790	16,973	970	21,691
80	4,226	260	6,176	440	9,191	620	12,923	800	17,079	980	21,762
90	4,226	270	6,169	450	9,191	630	12,994	810	17,079	990	21,832
100	4,226	280	6,169	460	9,226	640	12,994	820	17,114	1000	21,903
120	4,402	300	6,176	480	9,261	660	13,099	840	17,219	1020	22,008
150	4,402	330	6,374	510	9,367	690	13,205	870	17,325	1050	22,184
180	4,683	360	6,514	540	9,578	720	13,24	900	17,395	1080	22,325

Sumber : Kruseman & de Ridder, 1990

Catatan : Waktu t dihitung sejak pemompaan dimulai

Lampiran – C

Tabel – C.1 s_w dengan H_n

Semua angka yang tercetak tebal berasal dari data uji surutan bertahap
 Angka yang tercetak tebal dan miring adalah surutan (dalam m)
 Angka yang tidak tercetak tebal merupakan hasil perhitungan

Cara menghitung H_n :

$$H_1 = (1306/1440) \log t$$

$$H_2 = (1306/1440) \log t + (387/1440) \log(t-180)$$

$$H_3 = (1306/1440) \log t + (387/1440) \log(t-180) + (730/1440) \log(t-360)$$

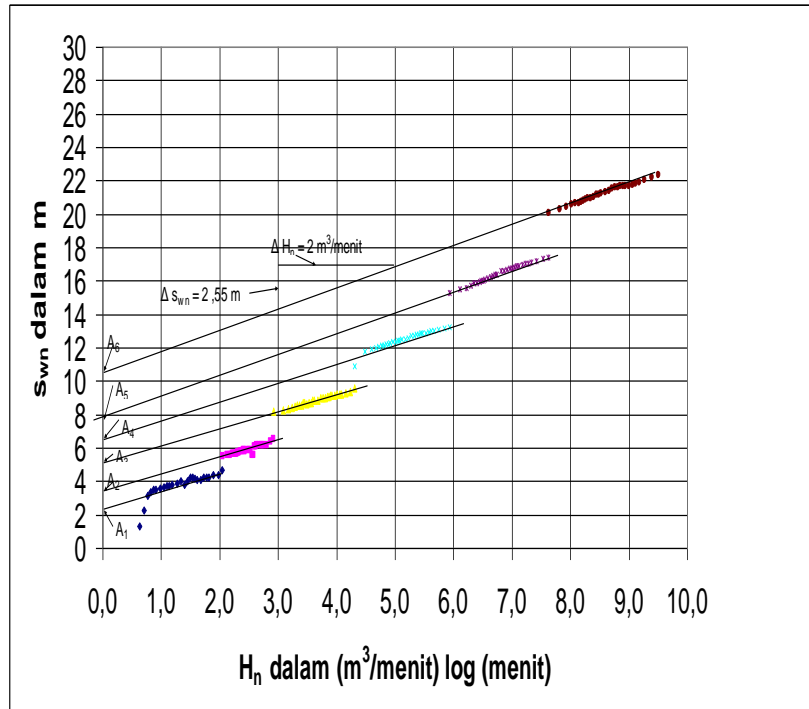
$$H_4 = (1306/1440) \log t + (387/1440) \log(t-180) + (730/1440) \log(t-360) + (838/1440) \log(t-540)$$

$$H_5 = (1306/1440) \log t + (387/1440) \log(t-180) + (730/1440) \log(t-360) + (838/1440) \log(t-540) + (833/1440) \log(t-720)$$

$$H_6 = (1306/1440) \log t + (387/1440) \log(t-180) + (730/1440) \log(t-360) + (838/1440) \log(t-540) + (833/1440) \log(t-720) + (925/1440) \log(t-900)$$

Waktu sejak awal tahap (menit)	Tahap 1 Q = 1306		Tahap 2 Q = 1693		Tahap 3 Q = 2423		Tahap 4 Q = 3261		Tahap 5 Q = 4094		Tahap 6 Q = 5019	
	H_1	s_{w1}	H_2	s_{w2}	H_3	s_{w3}	H_4	s_{w4}	H_5	s_{w5}	H_6	s_{w6}
1	0,0000		2,0476	5,458	2,9263	8,17	4,3107	10,881	5,9369	15,318	7,6278	20,036
2	0,2730		2,1307	5,529	3,0806	8,24	4,4882	11,797	6,1138	15,494	7,8242	20,248
3	0,4327		2,1801	5,564	3,1716	8,346	4,5929	11,902	6,2184	15,598	7,9404	20,389
4	0,5460		2,2159	5,599	3,2367	8,451	4,6678	12,008	6,2934	15,74	8,0237	20,529
5	0,6339	1,303	2,2440	5,634	3,2875	8,486	4,7265	12,078	6,3522	15,846	8,0890	20,6
6	0,7057	2,289	2,2675	5,669	3,3293	8,557	4,7748	12,149	6,4007	15,881	8,1429	20,66
7	0,7665	3,117	2,2876	5,669	3,3650	8,557	4,8160	12,149	6,4422	15,952	8,1890	20,741
8	0,8191	3,345	2,3052	5,705	3,3961	8,592	4,8519	12,184	6,4784	16,022	8,2293	20,811
9	0,8654	3,486	2,3211	5,74	3,4237	8,672	4,8839	12,219	6,5107	16,022	8,2651	20,882
10	0,9069	3,521	2,3355	5,74	3,4486	8,672	4,9127	12,325	6,5399	16,093	8,2975	20,917
12	0,9788	3,592	2,3609	5,81	3,4921	8,663	4,9632	12,36	6,5910	16,198	8,3544	20,952
14	1,0395	3,627	2,3829	5,81	3,5293	8,698	5,0064	12,395	6,6350	16,268	8,4033	21,022
16	1,0921	3,733	2,4026	5,824	3,5620	8,733	5,0445	12,43	6,6738	16,304	8,4465	21,128
18	1,1385	3,768	2,4203	5,845	3,5912	8,839	5,0785	12,43	6,7086	16,374	8,4852	21,163
20	1,1800	3,836	2,4366	5,81	3,6177	8,874	5,1094	12,501	6,7403	16,409	8,5204	21,198
25	1,2679	3,873	2,4723	5,824	3,6748	8,874	5,1763	12,508	6,8092	16,586	8,5970	21,304
30	1,3397	4,014	2,5031	5,824	3,7229	8,979	5,2326	12,606	6,8676	16,621	8,6620	21,375
35	1,4004	3,803	2,5304	5,881	3,7646	8,979	5,2817	12,712	6,9187	16,691	8,7190	21,48
40	1,4530	4,043	2,5550	5,591	3,8016	8,994	5,3254	12,747	6,9644	16,726	8,7700	21,551
45	1,4994	4,261	2,5776	5,591	3,8351	9,05	5,3649	12,783	7,0060	16,776	8,8164	21,619
50	1,5409	4,261	2,5986	6,092	3,8656	9,05	5,4012	12,818	7,0443	16,797	8,8591	21,656
55	1,5784	4,19	2,6181	6,092	3,8939	9,12	5,4347	12,853	7,0799	16,902	8,8988	21,659
60	1,6127	4,12	2,6366	6,176	3,9202	9,12	5,4660	12,853	7,1132	16,938	8,9361	21,663
70	1,6734	4,12	2,6707	6,162	3,9682	9,155	5,5233	12,888	7,1744	16,973	9,0045	21,691
80	1,7260	4,226	2,7017	6,176	4,0112	9,191	5,5747	12,923	7,2297	17,079	9,0665	21,762
90	1,7724	4,226	2,7303	6,169	4,0504	9,191	5,6217	12,994	7,2806	17,079	9,1235	21,832
100	1,8139	4,226	2,7569	6,169	4,0865	9,226	5,6651	12,994	7,3278	17,114	9,1764	21,903
120	1,8857	4,402	2,8054	6,176	4,1515	9,261	5,7435	13,099	7,4134	17,219	9,2727	22,008
150	1,9736	4,402	2,8690	6,374	4,2356	9,367	5,8454	13,205	7,5260	17,325	9,3996	22,184
180	2,0454	4,683	2,9245	6,514	4,3084	9,578	5,9341	13,24	7,6247	17,395	9,5112	22,325

Catatan : Satuan Q dalam m^3 /hari



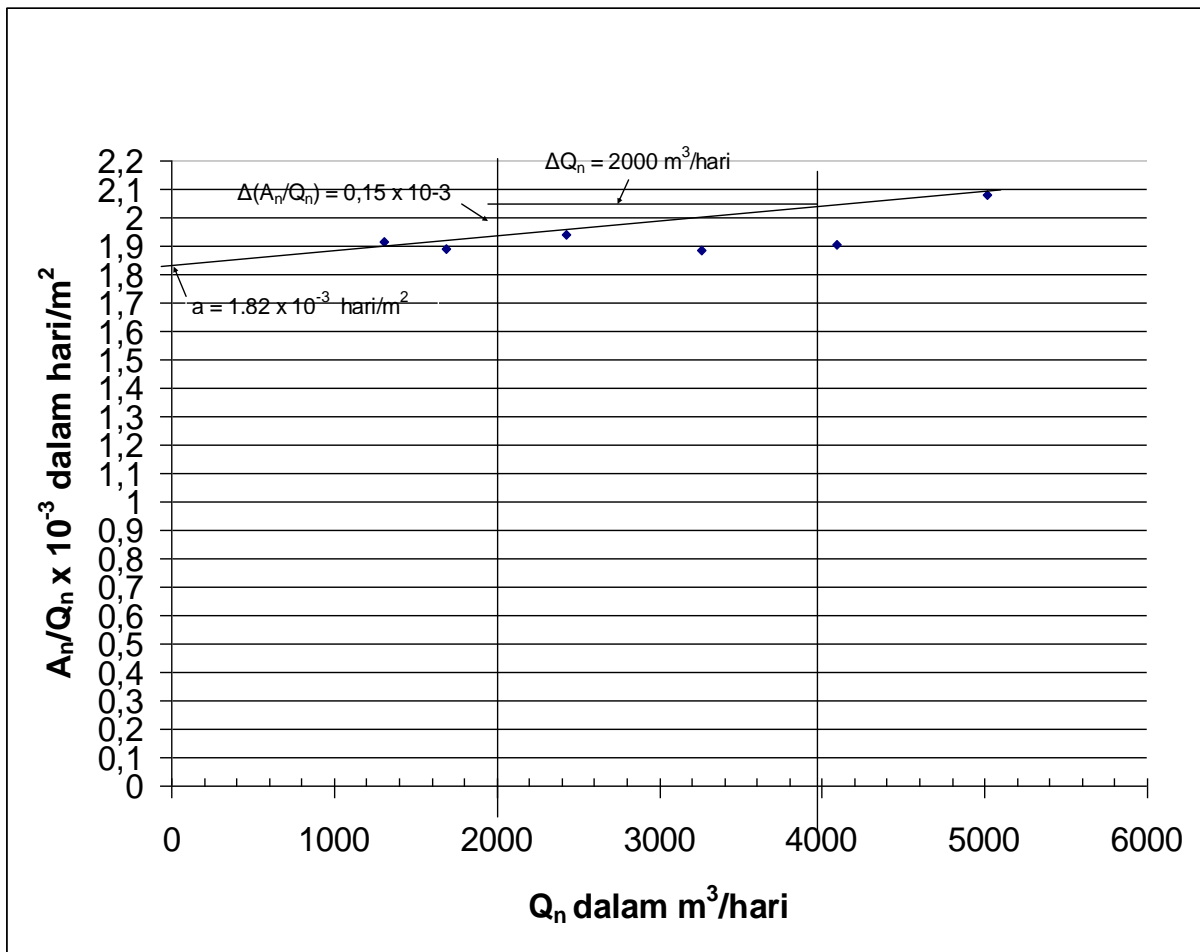
Gambar C. Titik-titik plot $s_{w(n)}$ lawan H_n pada kertas skala linear dalam metode analisis Eden-Hazel (cara uji I dan cara uji II)

Tabel C.2 Penyusunan Tabel A_n cara perolehan nilai b diperoleh dari Gambar C dan kD

Q_n ($m^3/hari$)	A_n (m)	A_n/Q_n	$(A_n/Q_n) \times 10^{-3}$	Q_n ($m^3/hari$)	$(A_n/Q_n) \times 10^{-3}$
1306	2,5	0,00191424	1,91424196	1306	1,91424196
1693	3,2	0,00189014	1,89013585	1693	1,890135854
2423	4,7	0,00193974	1,93974412	2423	1,939744119
3261	6,15	0,00188592	1,88592456	3261	1,885924563
4094	7,8	0,00190523	1,90522716	4094	1,905227162
5019	10,45	0,00208209	2,08208807	5019	2,082088065

$\Delta H_n = 2 \text{ m}^3/\text{menit}$ $\Delta s_{wn} = (16,8 - 14,25) \text{ m} = 2,55 \text{ m}$ $b = (2,25/2) \times (1/1440) = 7,81 \times 10^{-4} \text{ hari}/\text{m}^2$
 $b = 2,30/(4pkD)$
 $kD = 2,30 / 4 p$
 $b = 234 \text{ m}^2/\text{hari}$

Lampiran – D



Gambar D. Titik-titik plot A_n/Q_n lawan Q_n pada kertas skala linear dalam metode analisis Eden-Hazel (cara uji I dan cara uji II)

Tabel D.1 Penentuan s_w (perolehan angka a dan C dari Gambar D.1 (khusus untuk cara uji I)

Diperoleh

$$a = 1,82 \times 10^{-3} \text{ hari/m}^2 \quad \Delta(A_n/Q_n) = 0,15 \times 10^{-3} \text{ hari/m}^2$$

$$\Delta Q_n = 2.000 \text{ (m}^3/\text{hari)}$$

$$C = 0,75 \times 10^{-7} \text{ hari}^2/\text{m}^5$$

$$s_w = 1,82 \times 10^{-3} + ((7,81 \times 10^{-4}) \log t)Q + 0,75 \times 10^{-7} Q^2$$

Tabel D.2 Perolehan nilai a dari Gambar D.1 khusus untuk cara uji II)

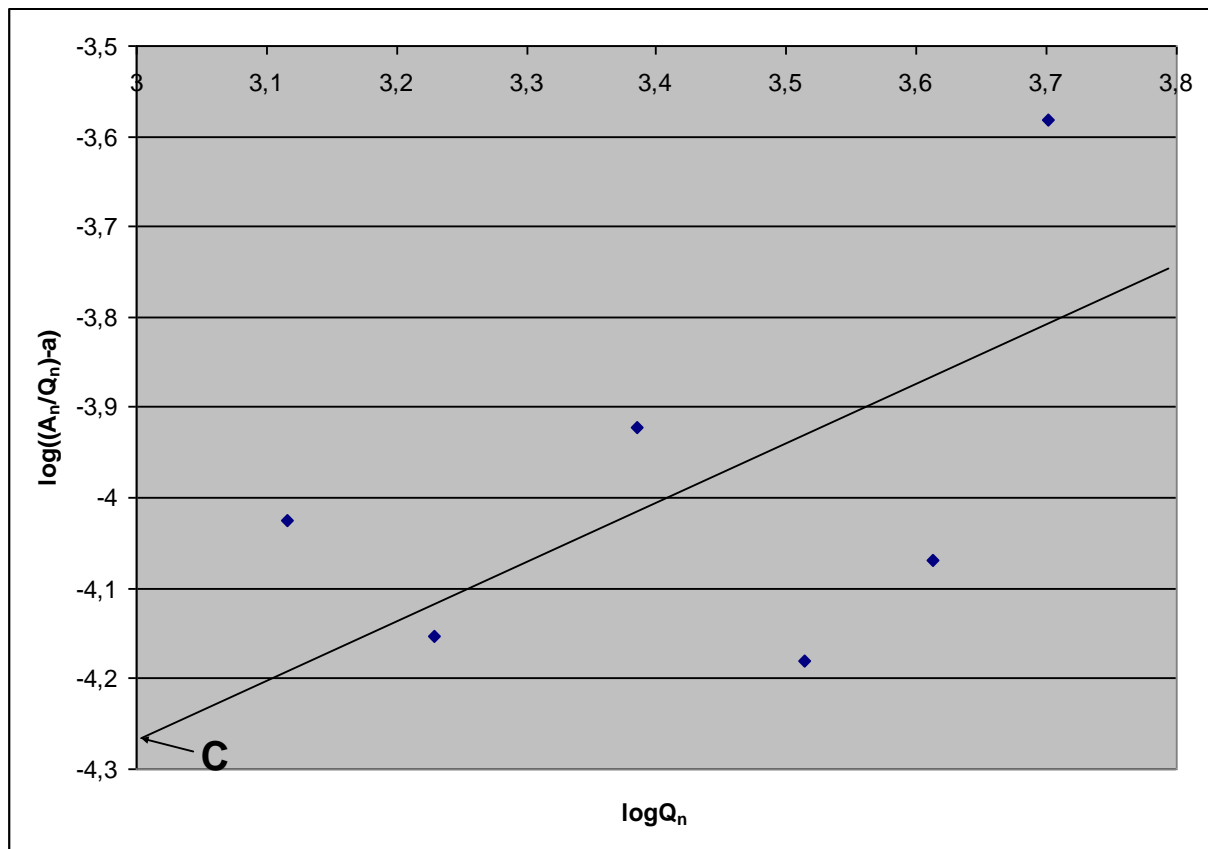
Diperoleh :

$$a = 1,82 \times 10^{-3} \text{ hari/m}^2$$

Lampiran – E

Tabel – E.1 Penyusunan tabel Q_n versus (A_n/Q_n) -a (khusus untuk cara uji II)

Q_n (m ³ /hari)	(A_n/Q_n) - a (hari/m ²)	$\log Q_n$	$\log(A_n/Q_n)$ - a
1306	9,4242E-05	3,115943	-4,025755689
1693	7,01359E-05	3,228657	-4,154059914
2423	0,000119744	3,384353	-3,921745807
3261	6,59246E-05	3,513351	-4,18095274
4094	8,52272E-05	3,612148	-4,069421975
5019	0,000262088	3,700617	-3,581552755



Gambar – E Plot $\log Q_n$ versus $\log (A_n/Q_n)$ -a

Tabel E.2 Kesimpulan perolehan C, p dan s_w

$$C = 10^{-4,27}$$

$$p-1 = \frac{-3,75 - (-4,27)}{3,8 - 3,0} = 0,65$$

$$p = 1,65$$

$$s_w = 1,82 \times 10^{-3} + ((7,81 \times 10^{-4}) \log t)Q + 10^{-4,27} Q^{1,65}$$